DIPLOME INTER-UNIVERSITAIRE DE REEDUCATION ET APPAREILLAGE EN CHIRURGIE DE LA MAIN – 2011-2013

Université Joseph Fourier
Faculté de Médecine de Grenoble

CHU de Grenoble
Professeur F. Moutet

Le conformateur palmaire réalisé par digitalisation de la main brûlée

Jury : Docteur D. Voulliaume
Professeur E. Van den Kerckhove
Professeur F. Moutet

Emilie Hardy
Ergothérapeute
Hôpital Léon Bérard
Hyères

Remerciements :

Je remercie le Professeur Moutet et l'ensemble des intervenants au DIU de rééducation et appareillage en chirurgie de la main ainsi que les personnes qui nous ont accueillies en stage pour le temps qu'ils nous ont consacré et les connaissances qu'ils nous ont transmises.

Je remercie aussi les services de rééducation des centres de l'Argentière, Lamalou, Coubert, La tour de Gassies, Flavigny, l'HIA de Percy, le centre des brûlés de Trousseau, et plus particulièrement le service ergothérapie de l'Hôpital d'Enfants de Vandœuvre-les-Nancy pour leur participation.

Merci encore aux patients qui ont bien voulu répondre à mon appel et acceptés d'être photographiés.

Merci à l'hôpital Léon Bérard pour m'avoir permis de concrétiser ce projet.

Enfin je remercie chaleureusement tous ceux qui m'ont soutenu tout au long de la formation.

Résumé : Les brûlures de la main, très fréquentes, peuvent conduire à l'apparition de cicatrices pathologiques mettant en jeu le pronostic esthétique et fonctionnel du patient.

Pour lutter contre l'installation de ces séquelles, le rééducateur met en place un traitement orthétique spécifique dont les principes sont parfois difficiles à mettre en œuvre, particulièrement à la face palmaire de la main, zone concave, donc difficile à appareiller de façon adaptée.

Pourtant, l'utilisation du procédé de digitalisation nous a permis d'en améliorer la qualité de prise en charge par la réalisation d'un conformateur appliquant une pression de qualité sur la zone cicatricielle.

Certains points restent cependant à travailler pour parfaire notre protocole, nous verrons lesquels.

Mots clés : Brûlures - Palmaires - Séquelles - Orthèses - Digitalisation - Compression

SOMMAIRE

INTRODUCTION

La main, organe polyvalent capable de motricité, de sensibilité et d'expression, est pour Paul Valéry dans son *Discours aux Chirurgiens* « *cet appareil qui tour à tour frappe et bénit, reçoit et donne, alimente, prête serment, bat la mesure, lit chez l'aveugle, parle pour le muet, se tend vers l'ami, se dresse contre l'adversaire et qui se fait tenaille, marteau, alphabet* » [1]. Certainement le segment le plus sollicité du corps, le plus riche et le plus complexe, la main, décrite par Aristote comme « *l'instrument des instruments* », a pour fonction première la préhension, qui lui confère d'innombrables facultés de par ses capacités à s'adapter à la forme d'un objet, à le saisir, le serrer, le manipuler et l'utiliser.

Organe situé dans le prolongement du membre supérieur, la main peut approcher et s'orienter ce qui lui permet d'explorer l'espace, et grâce à ses récepteurs sensoriels faire connaissance avec son environnement. Cet organe complexe de la préhension et du toucher est autant fonctionnel que relationnel puisque la main « sent, ressent et exprime » [1]. Partie du corps la plus exposée au regard de tous après le visage, elle est primordiale dans la relation à l'autre puisqu'elle est tour à tour serrée, donnée, tendue, agitée, caressée.

Cette main exploratrice est fréquemment atteinte [2] par sa rencontre avec l'objet. Parmi les lésions rencontrées, la brûlure, qui fait partie des accidents du quotidien, est très fréquente, allant de la « petite brûlure » à la brûlure « très grave » [3]. La main en est le site préférentiel, lésée chez 50% des patients hospitalisés en centre spécialisé [4].

Son atteinte constitue un facteur de gravité, car malgré la faible surface corporelle engagée, la lésion cutanée initiale entraine des lésions à la gravité et aux conséquences diverses, avec en cas de brûlures profondes, l'apparition de séquelles au cours de la cicatrisation et de la phase de maturation cicatricielle. Ces séquelles vont altérer les fonctions motrice, sensorielle, esthétique et expressive de la main, et donc compromettre la réinsertion sociale et professionnelle de l'individu.

Les patients souffrant de brûlures profondes doivent donc être dirigés vers des services spécialisés pour bénéficier d'une prise en charge adaptée jusqu'à l'obtention d'une cicatrice stable et mature. La lutte contre l'installation de ces séquelles cicatricielles, à type rétractile et hypertrophique, sera permanente afin d'obtenir la meilleure qualité cicatricielle possible, et in fine, permettre au patient de retrouver une main esthétique et fonctionnelle.

L'appareillage occupe alors une place de première importance puisqu'il doit guider la cicatrisation cutanée par la posture en capacité cutanée maximale (CCM) et par la compression, plus ou moins difficile à mettre en œuvre selon la topographie de la brûlure.

Ces principes sont rigoureusement appliqués au sein de notre SSR (Soins de Suite et Réadaptation) qui accueille des adultes souffrants de brûlures profondes en phase secondaire. Il s'agit d'une population chez laquelle la main est très fréquemment atteinte, le plus souvent à sa face dorsale ou de façon circulaire, l'atteinte palmaire isolée étant plus rare.

Pendant longtemps, la rééducation donnant la priorité à la fonction, tous nos efforts ont été concentrés sur la récupération en enroulement de la main, souvent au détriment du traitement d'une atteinte palmaire associée, qui peut pourtant aboutir, selon son évolution cicatricielle, à des déformations compromettant les fonctions de la main.
Nous devons donc trouver les moyens de traiter de concert l'ensemble des lésions, et mettre en place un programme d'appareillage posturant et comprimant l'ensemble des zones en cours de cicatrisation.
Dans cette démarche, la prise en charge des séquelles cicatricielles situées à la face palmaire de la main, traitées souvent de façon plus tardive, est délicate, car il s'agit d'une zone où la compression souple s'avère insuffisante, bien que la mise en place d'adjonctions semble en améliorer l'action.
Face à ce problème nous nous sommes interrogés quant à la façon de faire progresser notre prise en charge en zone palmaire. L'application d'une compression rigide est alors apparue comme une façon plus efficace de traiter la paume de main brûlée, mais longue et difficile à réaliser, elle n'avait pas trouvé sa place dans notre protocole.
Grâce à l'utilisation de la digitalisation, procédé que nous avons acquis depuis plus de deux ans, la fabrication de la compression rigide est à présent systématiquement réalisée en cas d'atteinte palmaire présentant un risque cicatriciel.
La cupule palmaire compressive obtenue est associée à une orthèse de posture en extension en capacité cutanée maximale, le tout constituant une orthèse bivalve que nous appelons conformateur palmaire, outil supplémentaire dans notre combat contre l'hypertrophie et la rétraction.

Après avoir rappelé quelques notions sur la brûlure et les conséquences de la survenue d'un tel traumatisme à la main, nous aborderons la méthode de fabrication du conformateur palmaire par digitalisation. Enfin nous ferons le point sur cette méthode et verrons de quelle façon nous pourrions encore améliorer notre protocole.

1 DE LA BRULURE AUX SEQUELLES CICATRICIELLES

1.1 Epidémiologie

Si les données épidémiologiques sur la brûlure ne permettent pas de savoir combien de personnes sont réellement atteintes par ce traumatisme, les données acquises par le Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information (PMSI) permettent d'évaluer à 400 000 le nombre de personnes brûlées nécessitant des soins médicaux chaque année en France [2]. Dans 5% des cas la brûlure ayant causée l'hospitalisation est grave [5]. La localisation, l'étendue et la profondeur des lésions générées sont responsables de 10 000 hospitalisations, dont plus de 3 000 en centres spécialisés, et de 1 000 décès [2].

Ces brûlures, qui entrainent une hospitalisation, sont majoritairement des accidents domestiques, représentant 60% à 70% des cas ; puis viennent les accidents du travail dans 15% à 20% des cas, les incendies à domicile pour 12%, les tentatives de suicide pour 7% à 8%, les agressions dans 4% des cas et les accidents de la voie publique pour 2% à 3% [3].

Il s'agit d'une population à prédominance masculine, composée à 63% d'hommes, et jeune, puisque la moyenne d'âge est de 29.9 ans.
Les enfants de moins de 5 ans sont fortement concernés par la brûlure puisqu'ils représentent 1/3 de l'effectif total [6]. Ainsi les enfants de 0 à 4 ans, qui sont les plus touchés, représentaient à eux seuls en 2009, 31% des hospitalisations pour brûlure, soit un taux de 98 hospitalisations pour 100 000 enfants de moins de 5 ans [5].
Sur la même période, 47% des hospitalisations concernaient les personnes de 15 à 59 ans, soit un taux de 15 pour 100 000 personnes [5].

La surface corporelle atteinte est dans 75.8% des cas inférieure à 10% de la surface corporelle totale (SCT), tandis que 2.9% des brûlures sont d'une étendue supérieure à 50% [7].

La main, qui représente 2.5% de la surface corporelle totale [4], constitue l'un des sites préférentiels de la brûlure puisqu'elle est atteinte dans plus de 80% des cas de brûlures [8] et chez 50% des personnes hospitalisées dans les centres de brûlés [4].
Classiquement les mains explorent l'environnement chez l'enfant tandis qu'elles protègent le visage chez l'adulte. La brûlure concerne donc essentiellement la face palmaire de la main chez l'enfant et majoritairement la face dorsale chez l'adulte.

Bien qu'elle n'engage pas le pronostic vital, la brûlure des mains est grave par les séquelles fonctionnelles et esthétiques auxquelles elle expose le patient, c'est pourquoi la main brûlée, qui représente moins de 3% de la surface corporelle totale [8], est classée dans les brûlures graves nécessitant une prise en charge en centre spécialisé.

1.2 Physiopathologie

1.2.1 Rappel histologique

La peau, organe à part entière, forme une enveloppe protectrice recouvrant l'ensemble du corps. Souple et résistante, elle protège l'organisme de son environnement.
Le revêtement cutané est composé de trois couches qui sont l'épiderme, le derme et l'hypoderme (figure 1).

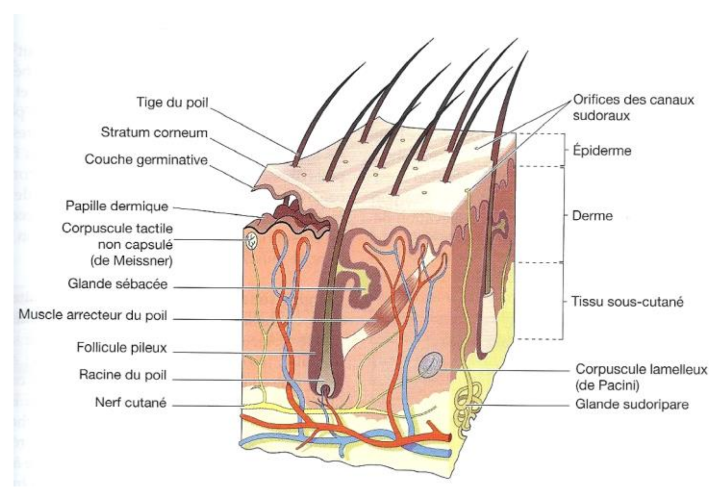


Figure 1: la peau [9]

L'épiderme

L'épiderme, couche la plus superficielle, est la partie visible de la peau [9]. Il est formé de 4 couches qui sont, de la profondeur vers la surface : la couche basale, unicellulaire, reposant sur la lame basale, le stratum de Malpighi, la couche granuleuse et la couche cornée [9, 10].
Avasculaire, fin (1/10ème de mm d'épaisseur [11]), souple et cellulaire, il est composé à 90% de kératinocytes, accompagnés de mélanocytes et de cellules de Langerhans [12].
Il se renouvelle continuellement, grâce à la formation de cellules épithéliales au niveau de la couche basale, qui migrent vers la surface en se chargeant en kératine, puis meurent à la surface, desquament, et sont remplacées par les cellules sous-jacentes [10,13].
L'épiderme constitue la couche protectrice de la peau, protégeant de la lumière grâce à la mélanine et des agressions traumatiques au moyen de la couche cornée.

Le derme

Couche profonde située sous l'épiderme, il en est séparé par la membrane basale.
Ce tissu conjonctif dense, résistant, composé d'une trame en collagène dont l'épaisseur varie de 1/10ème de millimètre à plusieurs millimètres [13], reçoit des vaisseaux sanguins de la profondeur qui irriguent les fibroblastes, principales cellules du derme, productrices des fibres

de soutien (principalement le collagène) ; des terminaisons nerveuses qui donnent sa sensibilité à la peau, et les annexes cutanées, tapissées d'épiderme [12].
Il confère solidité et élasticité à la peau [12].

<u>L'hypoderme</u>

Localisé sous le derme, l'hypoderme est une couche graisseuse mal vascularisée et d'épaisseur variable [13].
Il joue deux rôles importants, à savoir l'isolation thermique naturelle du corps et la répartition des pressions qui s'exercent sur la peau.

1.2.2 Constitution de la lésion

De nombreux mécanismes peuvent engendrer des brûlures, classées, en fonction de l'agent causant, en brûlures thermiques, chimiques et électriques [12].

Les brûlures thermiques sont les plus fréquentes puisqu'elles représentent à elles seules plus de 90% des brûlures [12, 14]. Elles sont produites par contact avec une source de chaleur solide ou liquide, par flamme, par rayonnement ou encore par friction de la peau avec une surface rugueuse [7, 12].
Lors de la brûlure thermique, un transfert de chaleur se produit entre la source et le corps, aboutissant, si l'absorption de chaleur est supérieure à sa dissipation, à une augmentation de la température intracellulaire. Le point critique est de 44°C, car en dessous de ce point aucune lésion ne se constitue sauf pour une exposition prolongée, tandis qu'au-dessus une lésion épidermique se forme en quelques minutes. De 44°C à 51°C l'importance des dégâts double pour chaque degré, allant jusqu'à la destruction complète de l'épiderme. Au-delà de 60°C les protéines se coagulent, engendrant une nécrose cellulaire locale et la constitution d'un œdème [7, 12, 14]. En fonction de l'exposition et de ses conséquences on classe cette brûlure thermique en trois degrés qui seront décrits par la suite.

Les brûlures chimiques sont occasionnées par la mise en contact de la peau avec un agent chimique ou par inhalation ou ingestion du produit.

Les brûlures électriques sont produites par le passage du courant électrique dans le corps ou sur la peau.

1.2.3 Gravité de la lésion

Cinq critères font la gravité de la brûlure : les circonstances, la profondeur, l'étendue, la localisation et le terrain [11].

Les circonstances [3, 11, 12]

Pour évaluer la gravité de la brûlure il est important de connaitre certains éléments, à savoir le temps de contact avec l'agent brûlant et sa nature, les circonstances et le lieu du sinistre (un lieu confiné favorise entre autre l'inhalation de fumées) ainsi que la nature de l'évènement (accident de la voie publique, explosion ou autre) qui peut entrainer des lésions associées venant compliquer le tableau.

La profondeur [7, 11, 12, 13, 15]

Classée en trois degrés (figure 2), la profondeur est le critère le plus significatif pour déterminer la gravité d'une brûlure. Pouvant évoluer pendant les premiers jours, elle est souvent difficile à déterminer initialement.

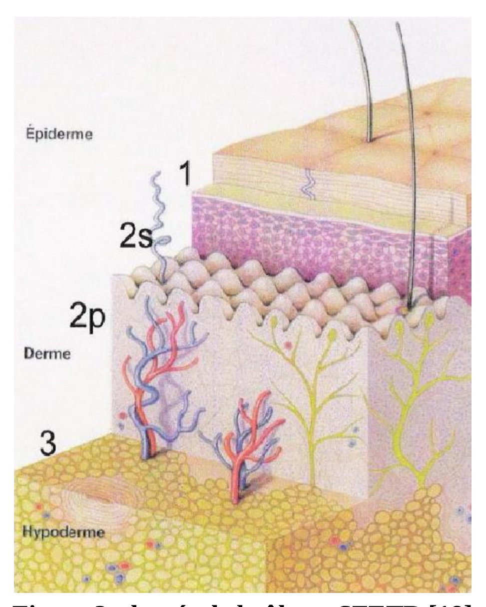


Figure 2: degrés de brûlure, SFETB [18]

Premier degré

Le premier degré consiste en l'atteinte des couches superficielles de l'épiderme avec respect de la membrane basale et du derme [7, 13, 15, 16].

Il est caractérisé par les trois signes de l'inflammation : rougeur, chaleur, douleur [7, 13, 15]. La douleur disparait en 72 heures [7, 12], la peau rouge guérit de façon spontanée en quatre à cinq jours avec légère desquamation [7, 12] et aucune séquelle cicatricielle n'est laissée par cet érythème douloureux type « coup de soleil ».

Second degré

Le second degré peut être superficiel ou profond en fonction de l'atteinte ou non de la membrane basale [7, 12, 13].

Le second degré superficiel atteint les couches profondes de l'épiderme et laisse intacte la membrane basale, couche par laquelle se renouvellent les cellules de l'épiderme [12, 13, 16] qui peut donc se régénérer, et ce en une dizaine de jours [7, 12, 16].
Les couches superficielles de l'épiderme se décollent formant des phlyctènes à parois épaisses et au plancher rose-rouge, hyperalgique [13, 15, 16].
Cette brûlure au second degré superficiel provoque des douleurs intenses mais n'engendre habituellement pas de séquelle cicatricielle [7, 12, 15, 16].

Le second degré profond détruit l'épiderme, lèse de façon plus ou moins complète la membrane basale et atteint une partie du derme [12, 13, 16], mais le derme profond et les annexes dermiques que sont les follicules pileux, glandes sébacées et sudoripares restent intacts [15].
Des phlyctènes au plancher rouge-brun accompagné de zones blanchâtres se forment de façon inconstante [12,15] tandis que survient une hypoesthésie de la zone lésée.
La membrane basale étant atteinte, la cicatrisation est ralentie et délicate : elle se fait en plus de quinze jours à partir de l'épiderme des annexes pilo-sébacées.
A partir de cette profondeur de brûlure la rançon cicatricielle sera importante [13,15], ce stade est donc à surveiller de façon rigoureuse d'autant plus qu'il peut évoluer en troisième degré en trois jours par poursuite du mécanisme nécrotique [7].

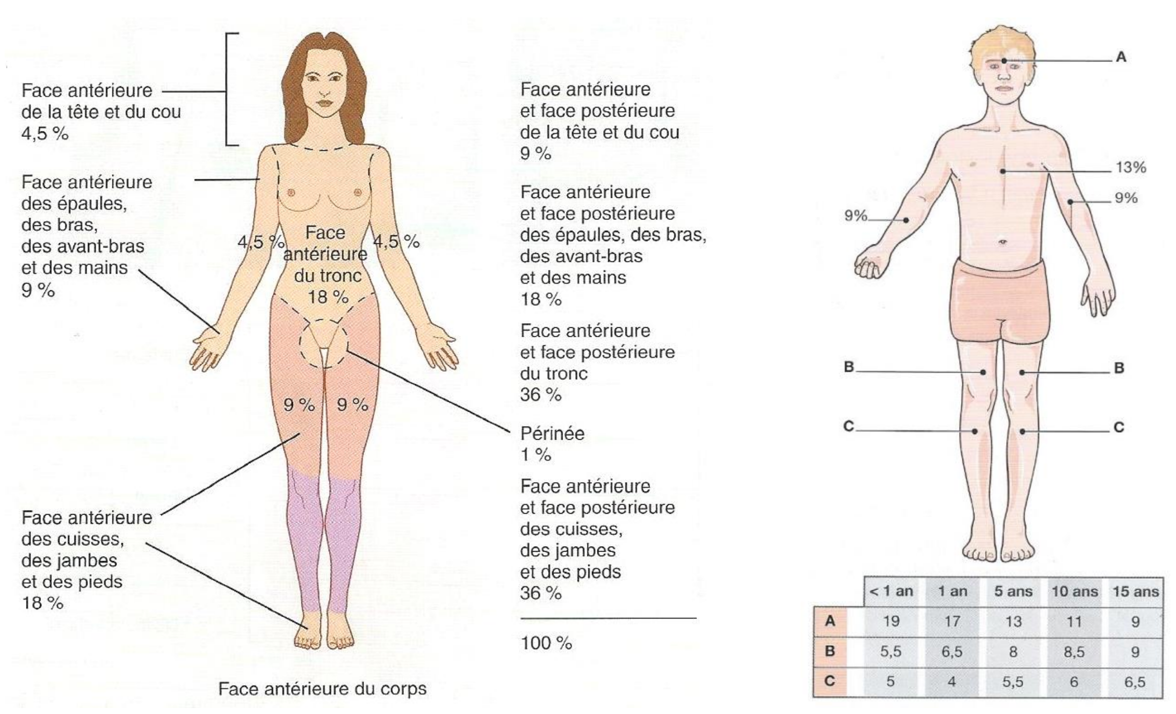
Troisième degré

Le troisième degré détruit en totalité l'épiderme, la membrane basale, les annexes pilo-sébacées, atteint profondément le derme, et peut aller jusqu'à la lésion de l'hypoderme [7, 12, 13, 17, 18].
La peau est de couleur blanc-brun, sèche et cartonnée car déshydratée [13, 17], la vascularisation est coagulée, l'innervation est détruite, la zone est anesthésiée [7, 12]. Le placard dur et insensible constitué forme une escarre [16] à exciser car toute épidermisation spontanée étant impossible, la cicatrisation ne se peut se faire qu'après excision des zones nécrosées puis greffée [15].
Quel que soit le traitement appliqué l'apparition de cicatrices vicieuses est à redouter.

L'étendue [12, 15, 16, 17, 18]

L'étendue de la brûlure, facteur révélateur de la gravité du brûlé, est exprimée en pourcentage de la surface corporelle totale (SCT) brûlée au second et troisième degré [17].

Chez les personnes âgées de plus de quinze ans la règle des 9 de Wallace (figure3) est habituellement utilisée pour évaluer l'étendue d'une brûlure. Cette règle attribue des multiples de 9% de la surface corporelle à différents territoires cutanés [12, 15, 16].



	< 1 an	1 an	5 ans	10 ans	15 ans
A	19	17	13	11	9
B	5,5	6,5	8	8,5	9
C	5	4	5,5	6	6,5

Figure 3 : Règle des 9 de Wallace [10]

Figure 4: tables de Lund et Browder [4]

Pour l'enfant elle ne peut être appliquée car les proportions de surfaces corporelles sont différentes. On utilise alors une règle des 9 modifiée ou des tables plus détaillées qui prennent en compte l'âge, comme la table de Berkow ou la table de Lund et Browder (figure4) [12, 18].

Pour estimer l'étendue d'une brûlure on peut aussi utiliser comme outil de mesure la paume de main du patient, qui représente environ 1% de sa surface corporelle totale [12, 15, 16,18].

Quelle que soit la méthode d'évaluation utilisée, sont considérées comme graves les brûlures de surface supérieure à 15% de surface corporelle totale chez l'adulte, 10% chez l'enfant, 5% chez le nourrisson, et 5% à 10% chez le vieillard [12, 13].

La localisation [7, 15, 16]

Pour une profondeur et une surface de brûlure données, certaines localisations sont à redouter puisqu'elles exposent la victime à de probables risques esthétiques, fonctionnels ou infectieux. Ainsi la survenue d'une lésion à proximité des orifices naturels aggrave le bilan global, pouvant mettre en jeu le pronostic vital et fonctionnel du patient, tandis que la même lésion, située en zone de grande mobilité, grève le pronostic fonctionnel par le risque d'installation de séquelles qu'elle présente.
Il apparait que la localisation d'une brûlure à la face, au cou ou aux mains constitue un facteur de gravité de par les conséquences fonctionnelles mais aussi esthétiques et sociales induites.

Le terrain [7, 13]

Une brûlure est d'autant plus grave qu'elle se produit aux âges extrêmes de la vie ou chez une personne avec antécédents, la comorbidité aggravant le pronostic.

En conclusion, la main brûlée peut subir d'importants remaniements, plus ou moins dramatiques selon les facteurs de gravité que sont la profondeur et la localisation de la brûlure sur cette zone. De ces facteurs dépendent l'installation de séquelles cicatricielles qui portent préjudice au pronostic fonctionnel et esthétique du patient, d'autant plus en présence de lésions associées. Afin de comprendre de quelle façon ces séquelles cicatricielles apparaissent, nous allons à présent décrire le procédé de cicatrisation et les troubles pouvant en découler.

1.3 La cicatrisation

Lorsque la barrière cutanée est agressée un processus complexe de réparation tissulaire entre en marche : la cicatrisation.
En cas de brûlure ce processus est perturbé, plus ou moins selon les caractéristiques de la lésion, et peut aboutir à l'apparition de cicatrices pathologiques.

1.3.1 La cicatrisation : rappel

On décrit le processus de cicatrisation selon trois phases [15, 16, 19, 20, 21].

La phase inflammatoire

Immédiate, elle permet de nettoyer la plaie de ses débris par élimination des tissus nécrotiques et favorise le comblement de la perte de substance induite. Elle aboutit à l'activation des fibroblastes [16, 19].

La phase proliférative

Fait suite à la phase inflammatoire et correspond au bourgeonnement, ou comblement de la perte de substance dermique. Un tissu de granulation est formé, tissu transitoire jeune, lâche, riche en néo-vaisseaux et inflammatoire, contemporain de la détersion [15, 16, 19, 20, 21].
La cellule clé de cette réparation tissulaire est le fibroblaste, qui une fois activé se multiplie et synthétise les fibres de collagène qui donnent sa résistance au derme.
Nombre de fibroblastes se différencient en myofibroblastes, cellules aux propriétés contractiles, responsables des phénomènes impliqués dans la fermeture de la plaie [19, 21].
Après que le bourgeon ait comblé la perte de substance, l'épidermisation se fait à partir des berges de la plaie et des îlots d'épiderme sain. L'épiderme formé ferme la plaie et permet la disparition du tissu de granulation [15, 16, 19].

La phase de maturation cicatricielle

Pendant cette étape la matrice est remodelée par diminution de la cellularité : les cellules du tissu de granulation devenues inutiles meurent par apoptose, la production de collagène diminue, la trame collagénique se réorganise, les myofibroblastes disparaissent et la vascularisation se normalise [15].

Ce remodelage est long, ainsi la cicatrice évolue sur six mois pour aboutir, à maturité, à une cicatrice le plus souvent fibreuse [19].

1.3.2 Cicatrisation de la peau brûlée et séquelles cicatricielles

1.3.2.1 Processus de cicatrisation de la peau brûlée

A la survenue d'une brûlure, le mécanisme de réparation tissulaire est perturbé, et ce de façon différente selon la profondeur de la brûlure, son étendue, l'intensité et la durée de l'inflammation, le temps de cicatrisation [15, 16, 22].

Se distinguent alors les brûlures superficielles et les brûlures profondes.

Les brûlures superficielles, ou brûlures du premier degré et du second degré superficiel [20], respectent la basale ; seul l'épiderme est altéré, dont la cicatrisation s'opère spontanément, c'est pourquoi elles évoluent de façon rapide [21], habituellement harmonieuse [20], sans rançon cicatricielle.

En revanche les brûlures profondes, brûlures du second degré profond et troisième degré, avec atteinte de la basale, présentent des risques cicatriciels majeurs puisqu'elles altèrent le derme qui cicatrise de façon plus anarchique [20], d'où une réparation tissulaire anormalement longue, de qualité moindre, réalisée sur un mode pathologique [21] : avec l'inflammation, l'hypervascularisation cause une hyperoxygénation et une hyperactivité des cellules [20], intensifiant l'activité des fibroblastes qui synthétisent alors le collagène en grande quantité, et parallèlement, l'activité des nombreux myofibroblastes est exacerbée.

Ainsi, la cicatrisation du second degré profond, qui peut être spontanée, est anormalement lente : la détersion a lieu avec élimination des tissus nécrotiques, puis un tissu de granulation se forme et l'épidermisation se produit à partir de la basale résiduelle et des reliquats d'annexes pilo-sébacées [20], tout cela dans un contexte inflammatoire et un délai prolongé, autorisant l'apparition de cicatrices vicieuses.

Pire encore, la cicatrisation spontanée des brûlures du troisième degré est rendue impossible par la destruction de la basale et des annexes, n'autorisant aucune épidermisation [20].

Au-delà de trois semaines, une brûlure non épidermisée est susceptible d'évoluer sur un mode pathologique [23] ; on comprend alors que la main brûlée profondément soit exposée à l'installation de séquelles, d'autant plus que, quelle que soit l'atteinte, les propriétés de la peau cicatrisée sont différentes de celles de la peau « saine » [24]. C'est pourquoi les brûlures profondes exposent à des risques cicatriciels importants [19, 20, 24, 25], dominés par la rétraction et l'hypertrophie, complications les plus fréquemment observées sur la main brûlée.

La constitution de ces séquelles cicatricielles, variable selon la topographie de la brûlure, sa profondeur, le potentiel génétique du patient et le traitement dont il a bénéficié, a un impact fonctionnel, esthétique et social plus ou moins lourd de conséquences en fonction de leur étendue et de la zone concernée.

Un planning chirurgical, élaboré dès les premiers jours suivants le traumatisme, doit permettre d'accélérer le processus de cicatrisation de la brûlure, induisant une meilleure évolution cicatricielle. Le traitement est choisi en fonction de la profondeur et de la topographie de la brûlure.
Ainsi, les lésions profondes sont débarrassées des tissus nécrosés par excision, puis laissées à la cicatrisation dirigée ou greffées [26]. La cicatrisation dirigée est menée par la confection de pansements successifs, destinés à contrôler le bourgeonnement jusqu'à l'obtention de l'épidermisation. Pour greffer, il est recommandé de recourir à l'autogreffe de peau mince, utilisée, pour un résultat optimal, en peau pleine, ce qui n'est pas toujours permis par l'étendue des brûlures [26], contraignant souvent le chirurgien à employer une greffe de peau expansée. Cette excision-greffe précoce a pour fonction de « court-circuiter » la phase de granulation, évitant l'apparition de l'hypertrophie [20], et associée à un appareillage de positionnement en capacité cutanée maximale doit limiter le risque rétractile [23].

Malgré ces interventions, la cicatrice peut tout de même évoluer sur un mode pathologique puisque la paume de la main est fréquemment greffée tardivement voire non greffée [4, 8], et ce pour plusieurs raisons.
D'abord, la prise en charge de la main est souvent retardée par l'engagement du pronostic vital et l'ampleur des zones à traiter chez le patient gravement brûlé.
Ensuite, la paume de main peut être laissée à la cicatrisation dirigée durant 3 semaines en CCM avant que la réalisation d'une greffe ne soit envisagée. C'est le choix régulièrement fait pour le traitement de la paume de main brûlée chez l'enfant [4].
Enfin, chez le patient grand brûlé, l'importance de la surface à couvrir mène le chirurgien à faire des choix ; il doit parfois privilégier la cicatrisation dirigée pour les zones atteintes au second degré profond afin d'être en capacité de couvrir les lésions les plus profondes [26]. De la même façon, il peut être contraint à réaliser des greffes en peau très largement expansée, tout en sachant que le potentiel rétractile augmente avec la taille de la maille du filet [26] et qu'une greffe en peau pleine est préférable pour un meilleur résultat esthétique [26].

Force est de constater que l'évolution cicatricielle peut se faire sur un mode pathologique malgré une prise en charge précoce et adaptée, conduisant à l'installation de séquelles fonctionnelles et esthétiques. Les principales, la rétraction et l'hypertrophie, sont décrites ci-dessous.

1.3.2.2 La rétraction

Normalement présente dès les premiers jours dans tout processus de réparation tissulaire, la rétraction est un phénomène destiné à réduire la surface et la profondeur de la lésion par les bords de la plaie et le derme sous-jacent [14, 20, 27]. Ainsi, les myofibroblastes mettent en tension les fibres de collagène, permettant aux berges de la plaie de se rapprocher.
Chez le grand brûlé ces phénomènes sont augmentés par l'inflammation [20, 24] et l'allongement du temps de cicatrisation, laissant le bourgeon s'enrichir en fibroblastes, fibres de collagène et myofibroblastes qui majorent la rétraction [14, 27].

Après épidermisation la phase de maturation débute, permettant l'évolution de la cicatrice : la trame de collagène se réorganise avec réalignement des fibres de collagène parallèlement aux lignes de tension cutanée, et l'inflammation, qui atteint son pic entre 3 à 6 mois, régresse progressivement entre 12 et 24 mois [21]. La cicatrice est à présent mature [14, 20], cependant la diminution de surface secondaire au phénomène de rétraction subsiste [14] et est aggravée chez le grand brûlé par l'absence de réserve cutanée saine.

La survenue de rétractions est prévisible selon la localisation, la profondeur et le traitement de la brûlure.
Elles se manifestent de façon préférentielle dans les zones mobiles et suivent les lignes de tension cutanée (figure 5). Leur importance augmente proportionnellement à celle de la tension cutanée et peuvent mener à la formation de véritables symphyses [20, 24, 27]. Les plis de flexion, c'est-à-dire les zones fonctionnelles, sont fortement menacés par ce type de cicatrice.
Selon la localisation la rétraction peut être unidirectionnelle formant une bride, ou multidirectionnelle constituant un placard [15, 28].

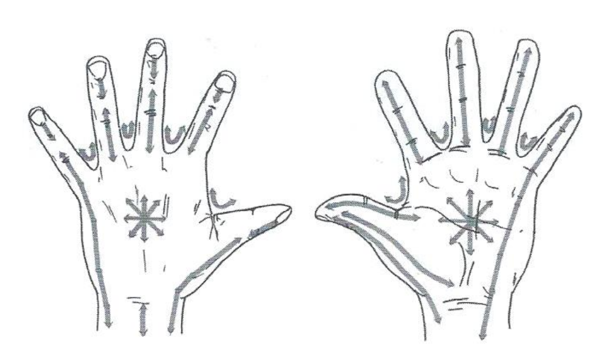


Figure 5: lignes de tension cutanée à la main [34]

Favorisée par les mouvements alternatifs rapides, la rétraction limite le jeu articulaire et réduit les capacités de préhension [29]. Il est possible d'agir sur ces cicatrices rétractiles tant que les phénomènes inflammatoires perdurent [14, 15] grâce à l'immobilisation et la mise en tension de la zone concernée par posture en CCM [21, 27, 30].

1.3.2.3 L’hypertrophie

Contrairement à la rétraction, l’hypertrophie survient en zone peu mobile par prolifération du tissu conjonctif. Inconstante, l’apparition des cicatrices hypertrophiques est liée au délai de cicatrisation : la quantité de tissu conjonctif produit augmente avec ce délai [14, 20, 27]. Au-delà de trois semaines l’hypertrophie est à redouter, particulièrement dans les zones de cicatrisation dirigée, en bordure de greffe, entre les mailles de filets d’une autogreffe expansée ou lors de la lyse partielle d’une greffe [14, 21, 27, 29].
Cette cicatrice, épaisse et boursouflée, ne se développe qu’au sein de la zone initialement lésée, limitant la mobilité et pouvant entrainer l’apparition de rétraction [15].
Rouge, chaude, douloureuse, accompagnée d’un intense prurit, la cicatrice hypertrophique a de lourdes répercussions fonctionnelles et esthétiques [17, 24]. Elle se stabilise après un à deux ans d’évolution [14] et a tendance à s’améliorer avec le temps [20, 31].
Pour la prévenir et accélérer son évolution, l’hypertrophie cicatricielle doit être contenue et comprimée. Pour ces raisons la pressothérapie est appliquée tout au long de la période inflammatoire, diminuant l’inflammation, créant une ischémie et favorisant le retour veineux.

1.4 La main brûlée

La brûlure profonde de la main, qui ne représente que 2.5% de la surface corporelle totale [4], est une brûlure grave qui vient compliquer le pronostic fonctionnel et esthétique du patient. Lourde de conséquences, le retour aux habitudes antérieures de vie s’en trouve souvent compromis.
Des séquelles cicatricielles spécifiques peuvent apparaitre selon la topographie de la brûlure.

1.4.1 Atteinte dorsale

La brulure de la face dorsale de la main est la plus courante chez l’adulte.
Cette face est couverte d’une peau fine, souple, fragile et extensible [29, 32], dont les adhérences aux plans sous-jacents sont lâches permettant ainsi un maximum de liberté en flexion des doigts [33], si bien que son atteinte se répercute de façon immédiate sur les fonctions mécaniques de la main.

L’apparition de rétractions, qui suivent les lignes de tension cutanée, entrainent à la face dorsale de la main des déformations dont l’expression la plus complète est la constitution d’une griffe en position intrinsèque moins. Les articulations métacarpo-phalangiennes sont tractées en hyperextension avec aplatissement des arches métacarpiennes transversales et longitudinales, des flessum s’installent aux articulations inter-phalangiennes proximales (IPP), tandis que les articulations inter-phalangiennes distales (IPD) s’enraidissent en rectitude voir en hyperextension [31, 33, 34].

Le cinquième rayon se désaxe avec hyperextension, rotation interne et adduction de la métacarpo-phalangienne (MP), flexum des articulations inter-phalangiennes [27, 33, 34].
Les commissures des doigts longs se ferment, formant des palmes et limitant l'abduction des doigts longs.
La première commissure se rétracte, engendrant un pouce adductus, limitant voir empêchant l'opposition du pouce, entrainant ainsi des limitations fonctionnelles particulièrement invalidantes.

1.4.2 Atteinte palmaire [4, 27, 29, 32, 35]

L'atteinte palmaire isolée est moins courante chez l'adulte mais domine chez l'enfant [4]. En revanche, la brûlure dorsale de la main adulte, souvent associée à la brûlure de ses bords radial et cubital ainsi qu'à une lésion de la face antérieure du poignet, peut engendrer une atteinte palmaire affectant les éminences thénar et hypothénar.

La face palmaire de la main est recouverte d'une peau épaisse et résistante lui permettant de supporter les contraintes en pression [29]. Ses adhérences avec les tissus sous-cutanés sont étroites, exception faite du revêtement cutané de l'éminence thénar, plus mince et plus mobile, autorisant la course de la colonne du pouce. Ces adhérences étroites la fixent au tissu aponévrotique et au squelette sous-jacent offrant des préhensions stables, performantes et précises [29, 32]. Afin d'accomplir ses fonctions la main doit pouvoir adapter sa forme pour s'enrouler autour des objets et s'aplatir sur les surfaces [35].
L'altération de ces caractéristiques par la survenue d'une brûlure grève le pronostic fonctionnel.

Les brûlures isolées à la face palmaire de la main peuvent évoluer sur un mode rétractile ou hypertrophique, voir les deux, engendrant des déformations.
L'attitude spontanée de repos de la main en flexion partielle des doigts, flexion et opposition du pouce, paume creusée, favorise l'installation de brides qui se forment dans les zones en creux et entrainent la rétraction des arches. En évoluant elles mènent à la flexion des doigts longs en crochet par rétraction de la peau palmaire. Le pouce se place en adduction par fermeture de la première commissure, la paume se creuse, le cinquième rayon se déforme en crochet avec abduction, rotation interne et flexion de la MP, des flessum s'établissent aux inter-phalangiennes (IP), des palmures apparaissent aux commissures des doigts longs.

La brûlure profonde isolée à la face palmaire de la main peut donc, par le potentiel rétractile sous-jacent, aboutir à la fermeture de la main et à la constitution de griffes digitales.
Des brides thénaro-hypothénariennes peuvent ainsi se constituer lors de brûlures des bords radial et cubital de la main et atteinte de la face antérieure du poignet. Ce type de bride entraine lui aussi la fermeture de la main avec creusement de la paume et oriente le pouce en adduction, qui va ensuite se déformer pour compenser son déficit d'extension et d'opposition.
L'ouverture de la main s'en trouve limitée ainsi que la course de la colonne du pouce.

1.4.3 Atteinte mixte

L'atteinte de la main est qualifiée de mixte lorsque la face palmaire et la face dorsale sont toutes les deux concernées par la brûlure.
Avec l'évolution cicatricielle, ce type de brûlure peut aboutir à l'association des déformations décrites suite aux brûlures dorsales et palmaires. Ainsi les complications cicatricielles dues à l'atteinte dorsale et à l'atteinte palmaire vont se combiner, compliquant le pronostic fonctionnel et la stratégie de prise en charge.
En fonction de l'étendue, de la topographie exacte de la brûlure et de son traitement, certaines déformations dominent.
Face à ce type de lésion, il convient de donner la priorité à la fonction en privilégiant la récupération en enroulement des doigts. Cette stratégie permet de préserver la réalisation de préhensions, parfois au prix d'un déficit en ouverture de la main, consécutif à une prise en charge plus soutenue de la face dorsale au détriment de l'évolution cicatricielle de la face palmaire de la main.

Quelle que soit la localisation de la brûlure profonde, la rançon cicatricielle qui en découle met en jeu le devenir de la main lésée. Une prise en charge adaptée doit donc rapidement être mise en place afin de sauvegarder la fonction de la main. C'est pourquoi le patient est dirigé vers des structures spécialisées qui observent rigoureusement les principes de rééducation de la brûlure que sont la réalisation d'une hypoxie et la mise en tension cutanée maximale. Ces principes sont appliqués au moyen d'un traitement orthétique [29, 36] dont nous allons prendre connaissance à présent.

1.4.4 Traitement orthétique [29, 36]

Les complications cicatricielles de la main brûlée mènent à l'apparition de déformations qui mettent en péril la mobilité de la main.
Il convient d'intervenir au plus vite pour les prévenir et lutter contre leur installation.
Dans ce but, nous devons réaliser une mise en tension cutanée maximale et créer une hypoxie de la zone à traiter afin d'obtenir un capital de peau optimal, autorisant une mobilité et une fonction subnormales voire normales. C'est pourquoi un traitement orthétique de la main brûlée est mis en place, spécifique aux zones à traiter et réadapté tout au long de la maturation cicatricielle. Il consiste en l'association délicate de la posture en CCM, qui agit sur les rétractions, et de la compression, qui lutte contre l'hypertrophie.

1.4.4.1 La posture [29, 36, 37, 38, 39, 40]

La prise en charge des mains brûlées repose principalement sur la réalisation et la mise en place d'attelles de posture. Portées le plus précocement possible et jusqu'à stabilisation des phénomènes inflammatoires, elles sont renouvelées et réadaptées régulièrement.

Leur but est de prévenir et traiter les déformations conséquentes d'une cicatrisation pathologique.
Lorsque le patient n'est pas cicatrisé, le bandage des pansements est utilisé pour réaliser les postures, et dès que possible, des orthèses spécifiques sont confectionnées selon la zone à traiter.

Pour une brûlure dorsale,

Une orthèse « intrinsèque + » est fabriquée, plaçant le poignet entre 15° et 20° d'extension, les MP entre 70° et 90° de flexion, les IP en extension et le pouce à 45° d'antéposition.
En fonction des zones lésées une orthèse d'enroulement des doigts longs (figure 6) peut aussi être mise en place.
Si ces orthèses en thermoformable basse température ne s'avèrent pas suffisantes, elles sont remplacées par des plâtres circulaires en série.
Les commissures des doigts longs sont traitées par cavaliers (figure 6).
Une orthèse d'abduction maximale du pouce est placée dans la première commissure si besoin (figure 6).
Pour lutter contre sa déformation, le cinquième rayon est traité de façon sélective dans les attelles, placé en position « intrinsèque + » avec un contre-appui ulnaire qui le ramène en adduction (figure 6).



Figure 6: orthèse d'enroulement, cavaliers siliconés, ouverture de 1ère commissure, « intrinsèque+ » du V.

Pour une brûlure palmaire,

Une orthèse d'ouverture de la main est réalisée, plaçant le poignet à 30° d'extension, les doigts en extension-abduction et le pouce en abduction maximale, dans le plan de la main (figure 7).
Là encore si l'attelle thermoformée basse température se révèle insuffisante, des plâtres circulaires en série prennent le relai.
En cas de bride thénaro-hypothénarienne une attelle en extension-abduction du pouce et du cinquième rayon est confectionnée.



Figure 7: orthèse d'ouverture de la main

Pour une brûlure mixte,

Les orthèses utilisées pour les brûlures dorsales et palmaires doivent être portées de façon alternée. Malgré tout, dans ce cas de figure, la priorité est donnée à la flexion digitale qui favorise la fonction. C'est pour cette raison qu'une orthèse en position de fonction est confectionnée lorsque l'alternance des attelles est impossible à mettre en place. Cette orthèse est similaire à une attelle « intrinsèque + » si ce n'est que les IP sont placées en légère flexion pour une posture au plus proche de la position de fonction.

Tous ces appareillages de posture ont pour but d'induire une expansion cutanée.
Pour agir de façon efficace sur les atteintes rétractiles et hypertrophiques, la mise en capacité cutanée maximale doit être associée à la compression de la zone à traiter.

1.4.4.2 La compression [15, 27, 29, 39, 40, 41, 42, 43]

L'appareillage compressif contient les tissus pour éviter leur expansion et accélère la maturation cicatricielle de l'hypertrophie en favorisant le retour veineux, diminuant l'œdème et l'inflammation, provoquant une ischémie tissulaire. L'hypoxie créée diminue l'activité des myofibroblastes et des fibres de collagène, et in fine permet la régression de l'hypertrophie.
Cette compression doit être mise en place le plus tôt possible et maintenue jusqu'à maturation cicatricielle. Portée 23 heures sur 24 pendant 18 à 24 mois, elle restreint l'expansion des cicatrices en les confinant dans un espace limité.

Elle débute par la pose de bandes cohésives type Coheband® ou Peha Haft® (figure 8), et dès l'obtention de la cicatrisation la zone est comprimée de façon plus soutenue. Pour cela les bandes sont relayées par l'application de gants en tissu élastique (Raucopress® ou tissu lycra) sur mesure (figure 8), associés ou non à des adjonctions (mousses de densités variables ou silicone en plaques ou pâtes moulées) placées sous les gants, permettant une augmentation significative de la pression (figure 9).






Figure 8: bandage cohésif et gant provisoire (patron, essayage, gant fini)







Figure 9: pate de silicone moulée en palmaire en adjonction à la compression souple

Si cette compression souple et globale se révèle insuffisante, une compression rigide, plus sélective, peut être réalisée. C'est ce principe que nous appliquons pour traiter l'évolution cicatricielle de la brûlure localisée à la paume de la main, dont le relief est difficile voire impossible à prendre en charge par le biais de la compression souple.

Au total, le traitement de la main brûlée doit associer la posture en CCM et la compression, difficile à mettre en œuvre lorsque la face palmaire est concernée. En effet la compression souple se révèle insuffisante pour traiter de façon efficace la zone palmaire, tandis que la compression rigide semble plus adaptée mais aussi plus longue et difficile à concevoir. C'est pourquoi l'utilisation d'un nouveau procédé, la digitalisation, apparait comme un moyen facilitateur pour réaliser la compression rigide. Après avoir pris connaissance des méthodes déjà employées par différentes équipes, nous décrirons la procédure de digitalisation.

2 LE CONFORMATEUR PALMAIRE PAR DIGITALISATION

2.1. Appareillage de la main palmaire brûlée, revue de l'existant

2.1.1 Principes de prise en charge [27, 29, 30, 39, 44, 45]

Les brûlures profondes localisées à la face palmaire de la main et des doigts peuvent conduire à l'installation de déformations entrainant la fermeture de la main, d'autant plus difficiles à prévenir que la main se place naturellement au repos dans cette position de flexion des doigts et de la paume.

Nos objectifs sont de guider la cicatrisation en prévenant l'apparition de déformations et maitriser l'évolution du tissu néo-dermique tout au long de la phase de maturation cicatricielle.

Notre intervention, précoce, progressive et infradouloureuse, repose sur la réalisation de la mise en tension cutanée maximale et d'une hypoxie afin d'obtenir la meilleure qualité cicatricielle possible.

Pour cela il convient d'immobiliser la zone lésée en CCM au moyen d'orthèses et de la comprimer.

L'appareillage de la main palmaire brûlée doit donc répondre à deux impératifs : le positionnement de la main en ouverture maximale, qui prévient les rétractions, et la compression, qui lutte contre l'hypertrophie, appliqués de façon adaptée selon les phases de la cicatrisation.

2.1.2 Traitement orthétique avant épidermisation

2.1.2.1 La posture

Avant épidermisation la main est immobilisée en CCM pour éviter l'installation de rétractions durant la cicatrisation et in fine l'apparition de déformations.

Cela débute, pour les mains brûlées en zone palmaire, par la réalisation de pansements posturants avec dissociation des doigts et ouverture de la première commissure, associés dès que possible à une orthèse statique d'extension [29, 38, 41].

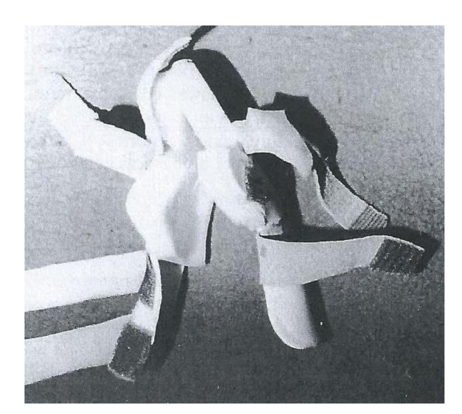
Plusieurs types d'orthèses sont utilisées selon les équipes mais le principe reste le même à savoir la mise en extension - abduction des doigts et l'abduction de la colonne du pouce.

Ainsi Ward et al. utilisent l' *« orthèse sandwich »* [46].

Après avoir pris les mesures de la main à traiter, ils coupent deux rectangles identiques dans du thermoformable rigide et les capitonnent de mousse. Un rectangle est placé en palmaire, l'autre en dorsal, les doigts et le pouce mis en abduction et extension. Le tout est fermé par

bandage cohésif élastique placé en 8 de l'avant-bras à l'extrémité distale des doigts. Les auteurs précisent que ce procédé n'est utilisé qu'en prévention de déformations.

Yotsuyanagi et al. [47] préconisent une orthèse *« simple et compressive »* (figure 10) qu'ils mettent en place après la greffe cutanée. Il s'agit d'une attelle antébrachio-digitale réalisée en thermoformable basse température, composée de deux palettes, une dorsale, l'autre palmaire plaçant le poignet et les doigts longs en extension, le pouce en abduction. Les deux palettes sont reliées en distal au moyen d'une sangle inamovible qui permet un repositionnement à l'identique. Les faces en contact avec la main sont capitonnées de mousse autocollante. Des bandes en cuir et scratch permettent de fixer l'attelle et d'adapter la pression appliquée : plus elles sont serrées, plus la main est comprimée.



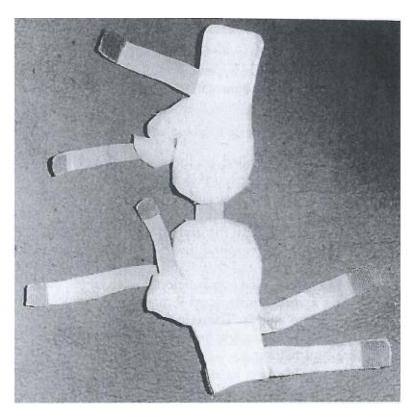


Figure 10: "*orthèse simple et compressive*" [47]

Toujours dans la perspective de prévenir l'apparition de déformations en flexion de la paume et des doigts, Agrawal et al. [44] mettent en place, en post-opératoire, une orthèse en aluminium (figure 11). Ils utilisent la main saine pour réaliser le patron, doigts et pouce en abduction et extension. Ils découpent, selon le patron, une plaque d'aluminium de 2mm d'épaisseur, la stérilisent, la perforent aux projections des extrémités digitales et capitonnent de mousse le côté appliqué sur la main. Après l'intervention chirurgicale cette orthèse est mise en place à la face dorsale de la main au moyen d'un bandage placé à l'avant-bras et aux extrémités digitales.

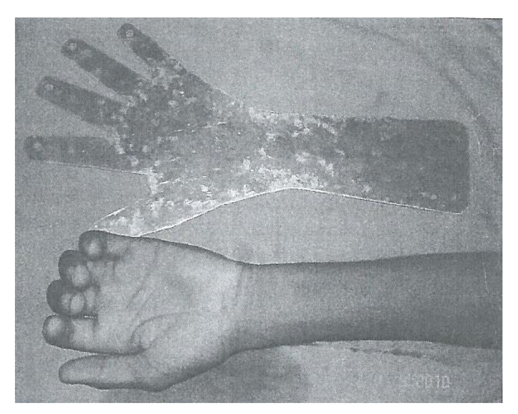


Figure 11: orthèse" *aluminium*" [44]

Descamps et al. [45] appliquent eux aussi une « plaquette de main » (figure 12), mais standardisée et non plus sur mesure, en thermoformable basse température. Pendant la phase d'épidermisation elle est incluse au pansement positionnel, à la face palmaire de la main.

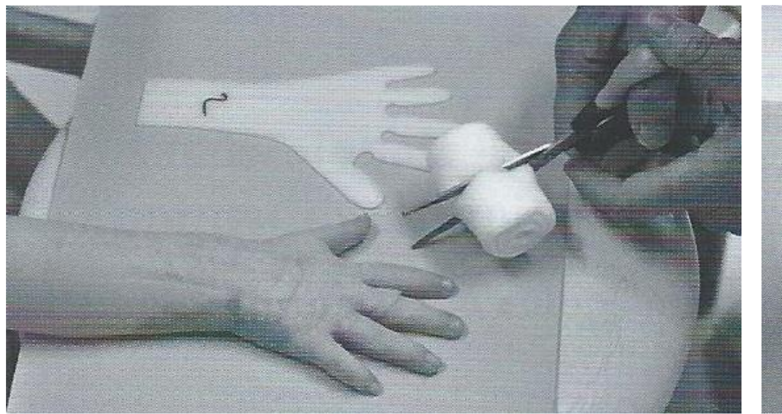



Figure 12: "plaquette palmaire" [45]

L'orthèse que nous réalisons dans notre SSR et qui, d'après la littérature, semble la plus couramment fabriquée pour une brûlure palmaire isolée [27, 29, 40, 41, 48] est antébrachio-digitale. Elle posture le poignet à 30° d'extension, les doigts en abduction et extension, le pouce en abduction maximale dans le plan de la paume de la main. Réalisée en thermoformable basse température, elle est adaptée au patient : le patron est tracé à partir de la main lésée, le thermoformable découpé selon le patron, puis moulé sur la main du patient. Les doigts y sont individualisés de sorte à être plus sélectif. Cette orthèse peut être placée sur la face dorsale de la main, évitant toute macération de la face palmaire en cours de cicatrisation ; sur la face palmaire, souvent plus confortable pour le patient, et permettant de redessiner et de soutenir les arches palmaires, ou bivalve (figure 13). Quelle que soit sa localisation, l'évolution cutanée sous attelle doit toujours être surveillée de façon rigoureuse.

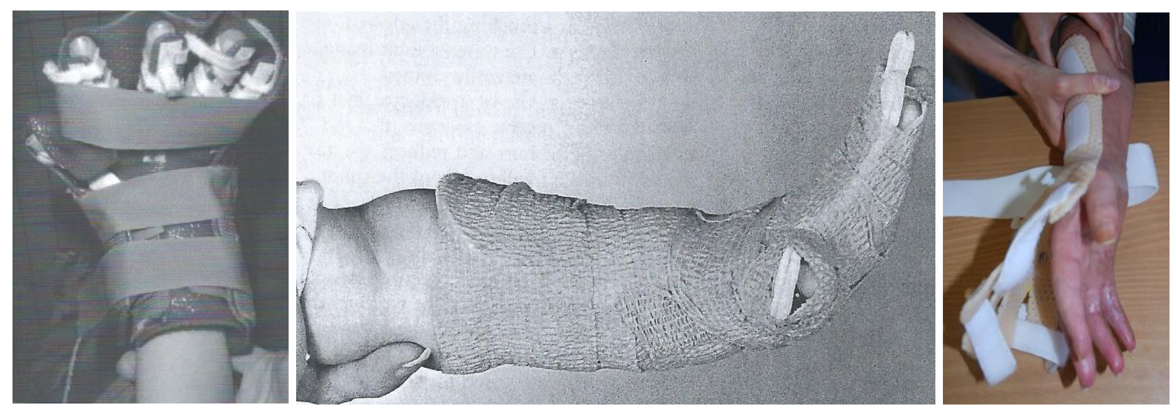


Figure 13: orthèse "sandwich"[41], dorsale [48] et une dorsale "maison"

2.1.2.2 La compression [27, 28, 29, 36, 39, 42, 43, 49]

Il émerge de la littérature une pratique collégiale pour l'application de la compression en fonction du degré de cicatrisation de la zone à traiter.
Avant épidermisation, tous la réalise par la pose de bandes cohésives élastiques, type Peha Haft® ou Coheband®, de façon disto-proximale, qui permettent de débuter la compression mais aussi la posture.
Avec l'acquisition de l'épidermisation les pansements s'allègent. Alors les bandages peuvent être remplacés par des gants compressifs provisoires en tissu élastique, type Raucopress® ou lycra, confectionnés sur mesure au sein de l'établissement.

2.1.3 Traitement orthétique après épidermisation

Une fois l'épidermisation acquise nous poursuivons la recherche de gain en capacité cutanée maximale pour obtenir les meilleures amplitudes possibles. Dans ce but la prise en charge en appareillage se poursuit, toujours en associant posture et compression cutanée cicatricielle.

2.1.3.1 La posture

Après épidermisation, le port de l'orthèse d'extension proposée à la phase aiguë est maintenu pour assurer l'immobilisation de la main en CCM.
Si nécessaire cette orthèse est réadaptée ou renouvelée.
Elle est placée le plus souvent en dorsal [48], mais peut être palmaire ou même bivalve [41].
Quelle que soit sa localisation, le but de l'orthèse reste de placer le poignet à 30° d'extension, les doigts en extension - abduction et le pouce en abduction.
Lorsque des limitations importantes se sont installées et que le port des orthèses thermoformées se révèle insuffisant, elles peuvent être remplacées par des plâtres circulaires. Réalisés en position ouverte de la main et de la première commissure, ces plâtres permettent de prolonger la posture tout en mettant au repos les articulations et la peau. Plusieurs plâtres successifs sont fabriqués, chacun est porté 24 à 48 heures. Le dernier d'une série est bivalvé et porté la nuit jusqu'à stabilisation des amplitudes obtenues [39].

2.1.3.2 La compression

Dès que la peau cicatrisée est suffisamment résistante pour supporter la pression appliquée, des gants compressifs définitifs sur mesure prennent le relai des gants provisoires, fabriqués par des établissements agréés. La pression que ces vêtements doit exercer sur les tissus fait débat, située par certains entre 25 et 30mmHg [27] et par d'autres entre 25 et 40mmHg [49].
Quoi qu'il en soit, la pression finalement appliquée par le vêtement compressif dépend du rayon de courbure de la zone. Elle est maximale pour une zone cylindrique de petit rayon comme un doigt, mais diminue pour une zone plane et s'annule pour une zone creuse [27]. La cicatrice située dans la paume de la main n'est donc pas contenue par le gant compressif qui

exerce une compression globale, peu efficace pour traiter la paume de la main et pire encore, il la conduirait à sa fermeture.
Pour améliorer le traitement cicatriciel de la paume de la main des adjonctions sont mises en place entre la peau palmaire et le gant compressif. Il s'agit principalement de gels de silicone, pâtes de silicone et de mousses.

Force est de constater que portée seule, la compression souple, qui réalise une compression globale, n'est pas la solution idéale pour traiter la face palmaire de la main. Il nous appartient de trouver des alternatives pour améliorer le traitement de cette localisation.

Dans ce but, l'orthèse de posture en CCM d'extension peut être moulée en palmaire, et son port associé à celui d'un élastomère de silicone placé sous le gant, en regard de la zone à traiter. L'orthèse d'extension permet alors non seulement de posturer la main, mais aussi d'améliorer l'efficacité du gant et de son adjonction, exerçant une compression de meilleure qualité sur la paume de la main.

Aussi la compression rigide présente une alternative intéressante et apparait comme le traitement optimal de l'évolution cicatricielle en zone palmaire. Elle permet de traiter de façon sélective les cicatrices pathologiques, appliquant une pression homogène sur la surface à traiter malgré ses reliefs [40].
Il s'agit d'une orthèse réalisée en thermoformable haute température transparent (type Orlen®) qui posture et comprime la cicatrice. La transparence du matériau permet d'apprécier la qualité de la pression appliquée par l'observation du blanchiment des zones cicatricielles et de surveiller l'état cutané sous attelle.
Ce conformateur est fabriqué par moulage sur un positif préalablement réalisé, le plus souvent par plâtre, à partir d'une empreinte confectionnée habituellement en plâtre elle aussi.
Pour sa fabrication les pratiques diffèrent : certaines équipes maintiennent manuellement le patient dans la position souhaitée pendant la réalisation de l'empreinte, d'autres moulent au préalable une orthèse dorsale de posture en thermoformable basse température, plaçant le poignet, la main et les doigts dans la position d'ouverture maximale [50]. Une fois la main fixée à cette attelle dorsale et vaselinée, des bandes plâtrées sont appliquées sur la zone palmaire. Quand le plâtre a durci le négatif est retiré de la main, un coffrage plâtré est ajouté et du plâtre liquide coulé dans le moule obtenu. Une fois le plâtre sec, les bandes plâtrées sont retirées et le positif obtenu, qui porte le relief réel de la cicatrice, est poncé. Le but est de lisser ce positif en «effaçant » les zones hypertrophiées et les brides apparentes. Les reliefs de la main sont redessinés et, après respect d'un temps de séchage, le positif plâtré corrigé peut servir d'empreinte pour mouler la cupule palmaire en thermoformable transparent haute température. Suite à l'essayage de l'orthèse obtenue le plâtre peut être retouché si nécessaire et la cupule modifiée [50].

Cette cupule palmaire peut être portée seule, à même la peau [39, 41], ou associée à une orthèse dorsale de posture en extension [50], conjuguant alors de façon optimale la posture et

la compression. C'est cette association que nous utilisons dans notre centre mais notre technique de fabrication diffère en un point : la réalisation de l'empreinte n'est pas faite par plâtre mais par digitalisation de la main.

La digitalisation, procédé que nous utilisons depuis peu, a permis de faciliter la réalisation de cet appareillage qui semble être le moyen de prédilection pour traiter l'évolution rétractile et hypertrophique de la paume de la main, en voici la procédure.

2.2 Réalisation du conformateur palmaire par digitalisation

La mise en place d'un conformateur palmaire nécessite deux temps de fabrication : une première étape consiste en la confection de l'orthèse de posture dorsale et une seconde en la réalisation de la cupule compressive palmaire. Ces deux parties sont ensuite ajustées et fixées ensemble, constituant une orthèse bivalve.

2.2.1 Réalisation de l'orthèse de posture en extension cutanée maximale

Matériaux :

Pour fabriquer la valve de posture dorsale sont nécessaires : du thermoformable basse température de 3.2mm d'épaisseur, un ciseau à thermoformable, une cuve, des scratchs.

Méthode :

Le patron est réalisé en dessinant les contours des deux tiers inférieurs de l'avant-bras du patient et de sa main, doigts et pouce en écartement maximal (figure 14). Si le patient est dans l'incapacité de placer sa main dans la position demandée, le thérapeute s'adapte en traçant un patron plus approximatif qu'il ajuste par la suite, ou en utilisant la main saine du patient comme modèle.



Figure 14: tracé du patron

La plaque en thermoformable est découpée selon le patron tracé.
Si le patient a des pansements ils sont protégés au moyen d'un manchon en jersey.

La plaque découpée est placée dans la cuve où l'eau est chauffée à 70°C.

L'orthèse est moulée par application du thermoformable sur la face dorsale de l'avant-bras, de la main et des doigts du patient. Le poignet est placé entre 0° et 30° d'extension selon les possibilités, l'idéal étant 30°, doigts et pouce en abduction et extension. Il est préférable, lorsque cela est possible, d'être deux thérapeutes pour le réaliser de sorte à obtenir une posture optimale en un seul moulage.

Une fois l'orthèse moulée il faut finir les découpes, arrondir les bords et les angles puis l'orthèse est essayée et si besoin réajustée (figure 15).
Quand les retouches sont faites des velcros sont placés à l'avant-bras, au poignet et aux extrémités digitales, en regard des articulations inter-phalangiennes distales des doigts longs et de l'articulation inter-phalangienne du pouce. Ils permettent de maintenir l'orthèse en place.



Figure 15: moulage, essayage et finitions.

Une fois l'orthèse de posture en extension cutanée maximale achevée nous pouvons passer à l'étape suivante, la réalisation de la cupule compressive palmaire.

2.2.2 Réalisation de la cupule compressive palmaire.

La réalisation de la cupule palmaire compressive se fait en plusieurs étapes : prise d'empreinte de la main, réalisation d'un positif, moulage de la cupule sur le positif, finitions et mise en place de la cupule.

Pour la prise d'empreinte, nous n'utilisons plus dans notre service le plâtre mais la Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur (CFAO). Ainsi le moulage plâtré est remplacé par la digitalisation de la zone à traiter, procédé qui permet d'acquérir les données et d'apporter directement des modifications à la forme scannée au moyen d'un logiciel de Conception Assistée par Ordinateur (CAO). La forme obtenue est fraisée en usine dans une mousse dense par Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO), aboutissant au positif sur lequel la cupule est moulée.

2.2.2.1 Réalisation de l'empreinte par digitalisation [51, 52]

Matériaux :

Pour réaliser la digitalisation il est nécessaire de disposer d'un ordinateur portable dans lequel les logiciels adéquats sont installés (Rodin4DScan® et R4D-CAD/CAM® dans notre cas), d'un transmitteur et d'un wand, le tout relié à l'unité centrale qui assure la communication entre les différents éléments (figure 16).

Le transmitteur est une antenne qui émet un champ magnétique de 70cm de rayon et repère la position du wand dans l'espace.

Le wand, ou digitaliseur, est une sorte de « pistolet » à gâchette équipé d'un laser de classe 1 et d'une caméra enregistrant les informations données par le laser. La sensibilité de la caméra, réglable, permet de recueillir les données quelle que soit la couleur de la peau, autorisant un scan de qualité malgré les différentes teintes d'une peau cicatricielle inflammatoire. En revanche il reste difficile de scanner des peaux aux contrastes de pigmentation élevés, ainsi l'acquisition des données pour les peaux noires en présence de zones d'hypopigmentation se révèle parfois impossible sans l'application préalable d'une crème (type Aloplastine®) qui unifie la couleur de la surface à traiter.

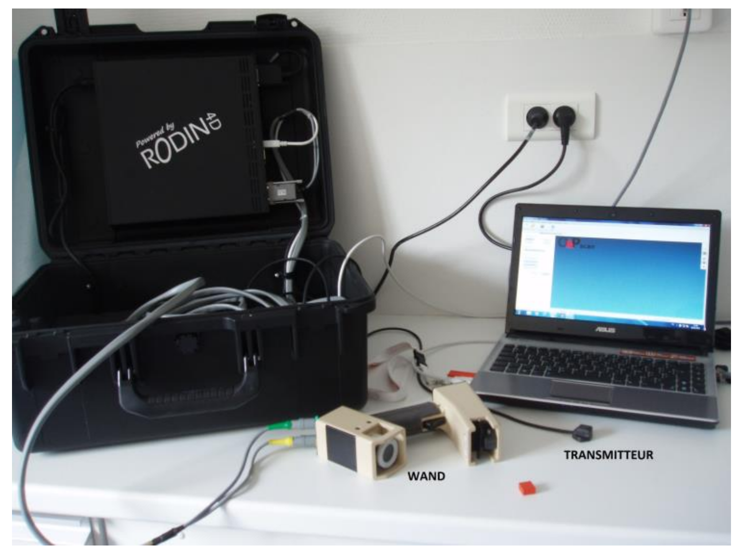




Figure 16:matériel pour la CAO : unité centrale, wand et transmitteur.

Initialisation de la procédure:

La digitalisation de la forme consiste en une prise d'empreinte numérique réalisée au moyen d'un scanner 3D.

Au préalable nous démarrons le logiciel R4D®, ouvrons un dossier patient et lançons la création d'une *« nouvelle forme »* à partir d'un *« nouveau scan »*. Cette manœuvre lance le logiciel R4Dscan® qui autorise la réalisation de la digitalisation.

Le patient est installé, l'orthèse dorsale de posture en extension maximale mise en place et le transmitteur fixé au patient, à proximité de la zone à scanner (figure 17).





Figure 17: mise en place du transmitteur

Acquisition des données :

Pour réaliser la digitalisation nous prenons le wand en main : un appui prolongé sur la gâchette permet d'enregistrer les données, quand l'appui est relâché la digitalisation est suspendue.

Le wand doit être déplacé de façon fluide, à distance régulière de la cible (à 15cm à l'idéal). Pendant la digitalisation le laser apparait sur la peau du patient ce qui permet de visualiser la zone scannée (figure 18).

Afin d'obtenir une empreinte de qualité, le wand ne doit pas sortir du champ magnétique émit par le transmitteur qui doit, tout comme le patient, rester immobile.



Figure 18: acquisition des données

Tout au long de la digitalisation, les données acquises par bandes successives sont visibles sur l'écran de l'ordinateur en temps réel permettant de distinguer les zones digitalisées et celles qui doivent encore l'être (figure 19).

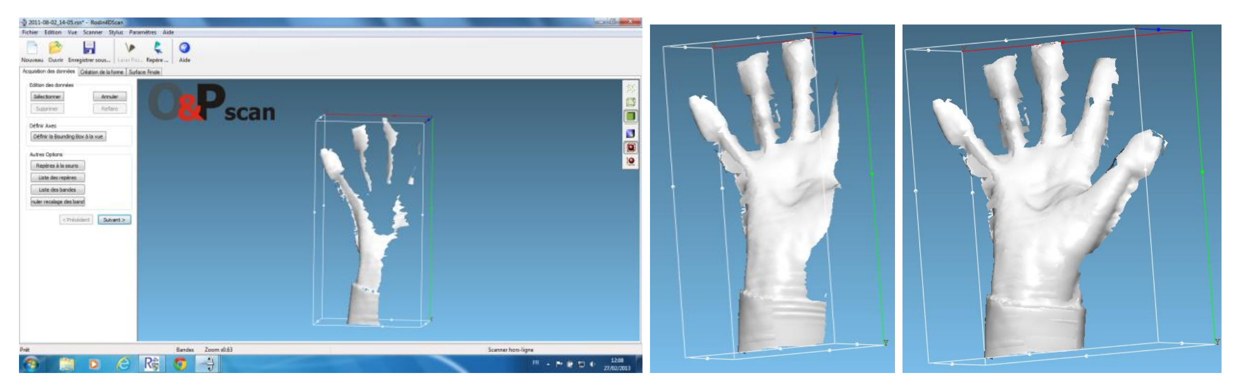


Figure 19: visualisation des bandes à l'écran

A tout moment chaque bande peut être conservée ou annulée et la sensibilité de la caméra ajustée.

Une fois la digitalisation terminée on obtient une empreinte numérique 3D, forme brute, similaire à une « photographie » 3D.
La qualité du scan réalisé est essentielle car toutes les étapes suivantes, jusqu'au résultat final, dépendent de cette digitalisation.
Rapide à effectuer, le thérapeute ne doit pas hésiter à renouveler sa prise d'empreinte si des données sont manquantes ou si trop de parasites sont apparus.

La durée moyenne de présence du patient est de 30 minutes dont à peine la moitié pour l'acquisition des données.
Cette méthode est donc simple, rapide, non salissante, mais également confortable, indolore et non anxiogène pour le patient.

Préparation de la forme brute :

Une fois les données acquises par digitalisation, la forme brute obtenue est préparée par informatique avant d'être envoyée à l'usinage ; le but est d'obtenir un positif au plus près de la forme recherchée, limité à la forme à appareiller, débarrassé des imperfections de la forme brute initiale.
Pour cela plusieurs étapes informatiques sont nécessaires, les voici.

Reconstruction de la forme

La forme brute est d'abord **« *reconstruite* »** en quelques « clics » de souris.
L'empreinte 3D acquise est alors « *nettoyée* » des parties que nous ne souhaitons pas conserver. Les segments scannés inutiles pour notre appareillage et les parasites

éventuellement apparus lors de la digitalisation sont effacés, ce qui permet d'obtenir une forme limitée à nos besoins et allège le fichier (figure 20).

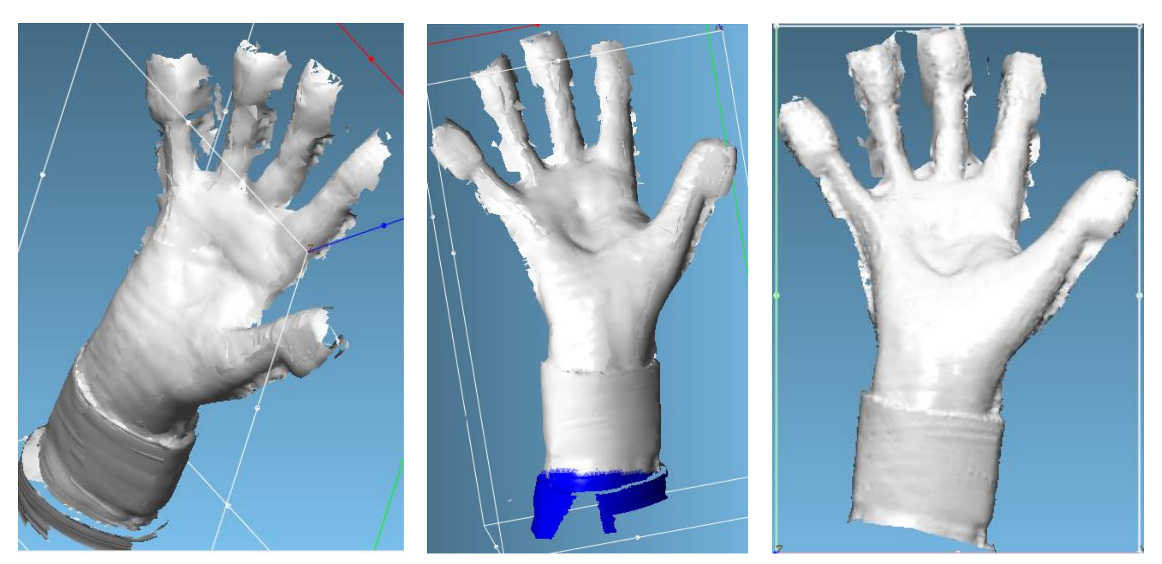


Figure 20: forme bute avant le « nettoyage » et en cours de « nettoyage ».

Puis le *«recalage des bandes »* est fait, corrigeant les défauts apparus lors des petits mouvements du patient. Cette étape réajuste les données acquises pendant l'enregistrement des différentes bandes en les confrontant et ne conservant que les données communes.

Pour une plus grande précision, les bandes scannées peuvent être triées : plus leur nombre est restreint, plus l'empreinte sera fidèle à la forme scannée, ainsi les bandes n'apportant que peu de données sont supprimées (figure 21).

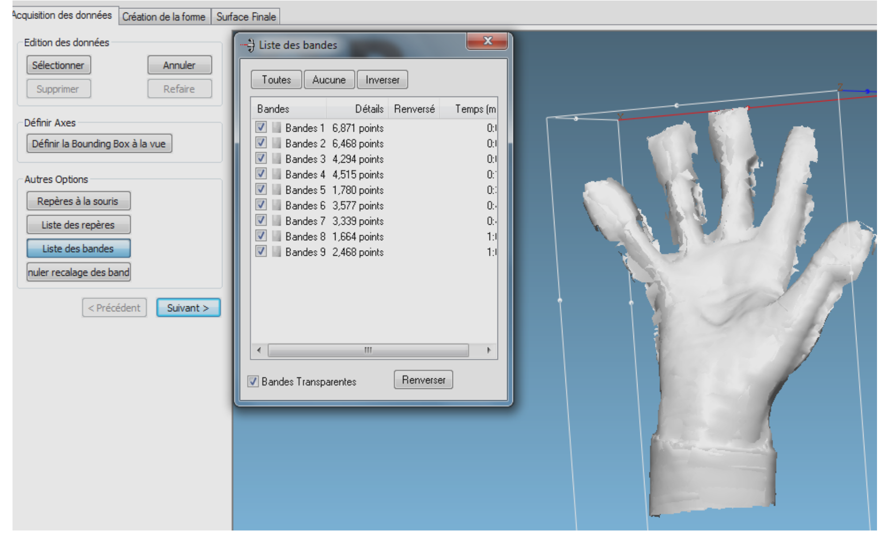


Figure 21: accès à la liste des bandes pour "triage"

Enfin la forme est « *repositionnée* » pour faciliter la réalisation de la forme finale : la forme digitalisée est placée sur sa vue de face, puis la « *bounding box* », volume contenant la forme, est redéfinie. Les opérations effectuées par la suite s'appliqueront à l'ensemble de cette « boite ».

Création de la forme

Une fois ***« reconstruite »*** la forme peut être ***« créée »***.

Pour cela une taille de forme et un type de surface sont choisis.

La taille de la forme est choisie parmi les trois proposées par le logiciel : « *large* », « *moyenne* » ou « *petite* » (figure 22). Cette taille conditionne la résolution de la forme finale puisqu'en fonction de la taille sélectionnée la forme brute est reconstruite en une structure composée de triangles grands, moyens ou petits. Si la taille « *petite* » est sélectionnée la forme résultante sera de meilleure résolution puisque composée de petits triangles (figure 23). Pourtant ce choix ne convient pas pour un grand volume car le fichier résultant est trop lourd, donc difficile à traiter. En revanche pour la main, qui est un petit volume, la « *petite* » forme est un choix judicieux puisqu'elle permet d'obtenir une grande précision.

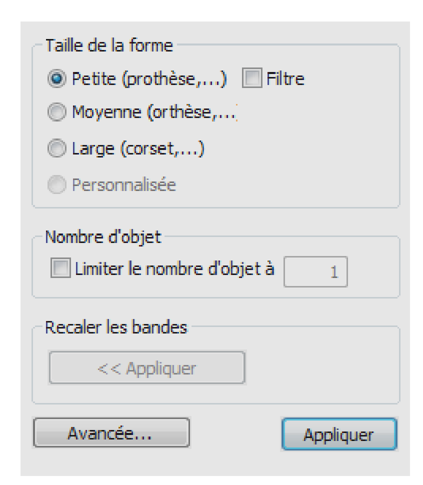


Figure 22: taille de forme

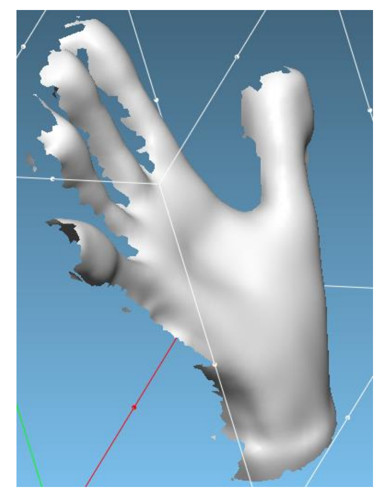


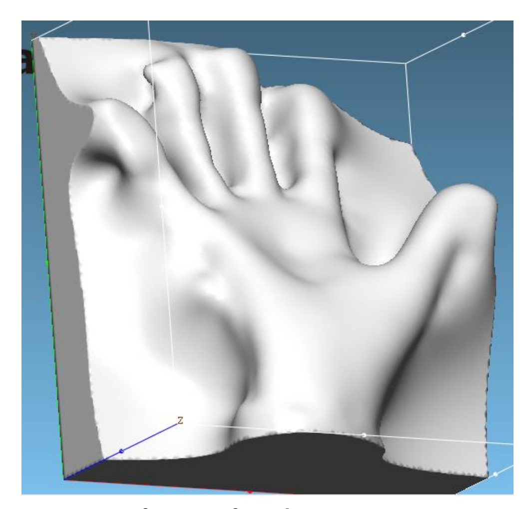
Figure 23: structure en « petits triangles »

Puis la surface est définie, dernière étape avant l'importation du scan dans le logiciel R4D®.

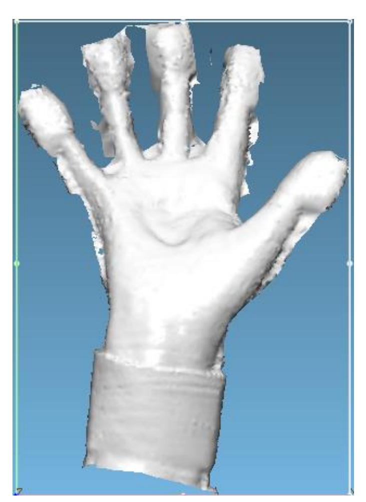
Il est alors possible de choisir une forme « *ouverte* » ou « *fermée* ».

Une forme « *ouverte* » aboutit à la construction d'une surface correspondant au scan (figure 24). Une forme « *fermée* » conduit à la réalisation d'un volume à partir de la forme initiale, restreint à la bounding box (figure25). Ce choix peut être astucieux si, au cours de la digitalisation, une zone n'a pu être scannée, laissant apparaitre un trou dans la forme brute. S'il n'est pas comblé avant l'usinage, ce trou sera présent sur notre empreinte finale. La forme « *ouverte* » ne corrige pas cet espace béant, tandis que la forme « *fermée* » le rebouche. Cependant, si le scan initial est de bonne qualité, il faut préférer une forme « *ouverte* » puisque seule la face palmaire de la main nous intéresse ici, d'autant que le fichier sera moins lourd, donc plus facile et rapide à traiter.


Figure 24: forme « ouverte »


Figure 25: forme « fermée »

Une fois ces paramètres choisis le logiciel applique les choix sélectionnés et uniformise la surface scannée. Alors la surface est lissée et les reliefs conséquents aux séquelles cicatricielles visibles sur la forme 3D brute (figure26) sont adoucis (figure 27).


Figure 26: forme brute

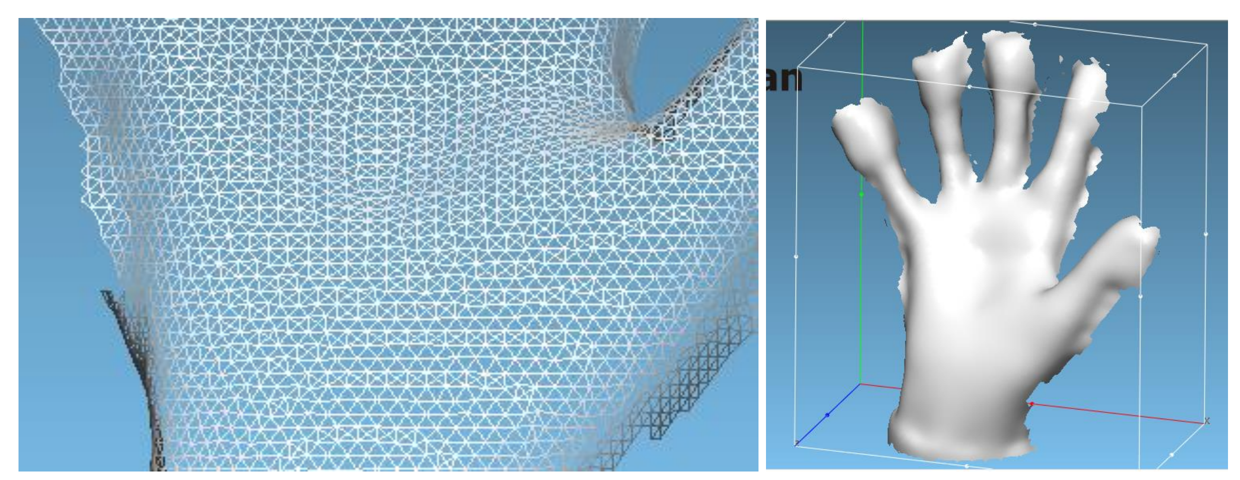


Figure 27: forme obtenue après « création » : la trame est réorganisée

Le « rebalayage » :

Cette étape confère à la forme brute obtenue par la digitalisation une structure cylindrique modifiable composée de sections et de rayons. L'opérateur peut augmenter la précision finale de sa forme en augmentant le nombre de rayons et réduisant les écarts entre chaque section. Par la suite, cette structure en maillage permet d'apporter des modifications à la forme : les rectifications habituellement faites manuellement sur le positif peuvent être réalisées virtuellement sur la forme 3D dans le logiciel R4D®.

Toute cette procédure de préparation de la forme brute ne mobilise l'opérateur que 5 à 10 minutes, toujours selon la qualité initiale du scan.

Exportation de la forme:

La forme peut maintenant être exportée vers le logiciel R4D® et préparée pour le fraisage. A ce moment, il est possible de retoucher la forme scannée afin de lui donner le relief attendu.

Pour exporter la forme 3D, il faut au préalable ouvrir une forme de travail qui peut être modifiée. Pour cela nous ouvrons, à partir du dossier patient créé au départ de la démarche, une *« nouvelle forme »* à partir *« d'une bibliothèque »* pour choisir la forme de travail qui nous convient parmi celles proposées (figure 28).

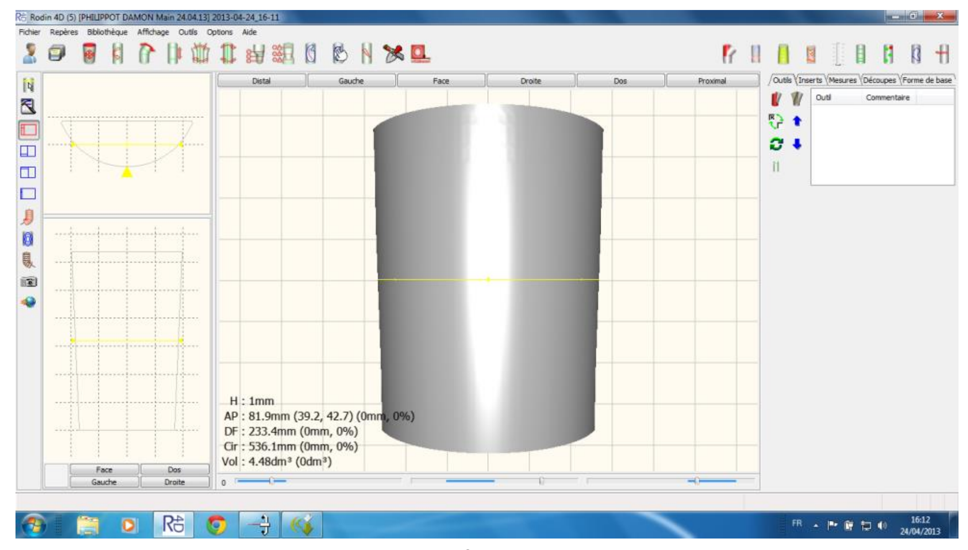


Figure 28: forme de travail

Puis, grâce au logiciel, nous importons et insérons la forme 3D dans la forme de travail.
Nous orientons ensuite notre forme de façon adaptée à la méthode d'usinage afin que le fraisage aboutisse à une forme finale respectueuse des reliefs de la forme 3D (figures 29 et 30).

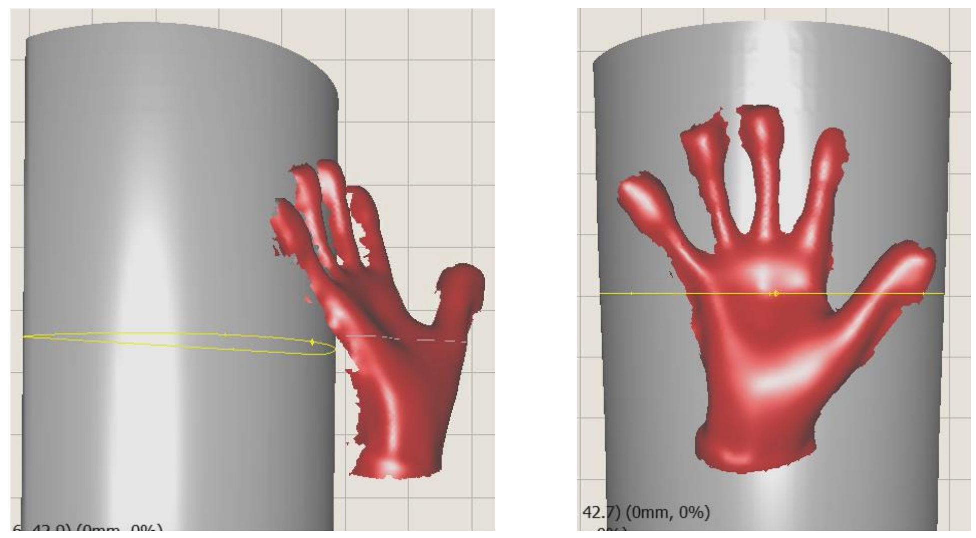


Figure 29: insertion et orientation main 1

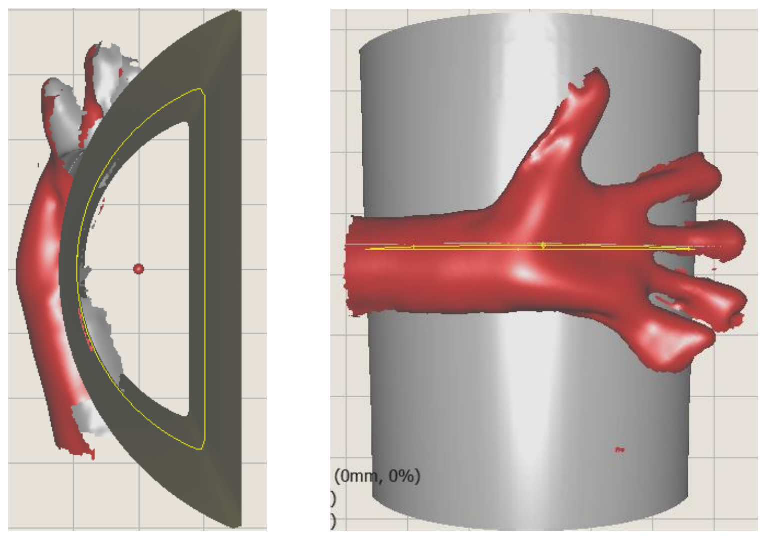


Figure 30: insertion et orientation main 2

D’un seul clic, la forme insérée est « *fusionnée* » à la forme de travail qui s’adapte à la forme 3D. Nous visualisons maintenant le fichier résultant et par là même le positif que nous devrions obtenir après usinage (figures 31 et 32).

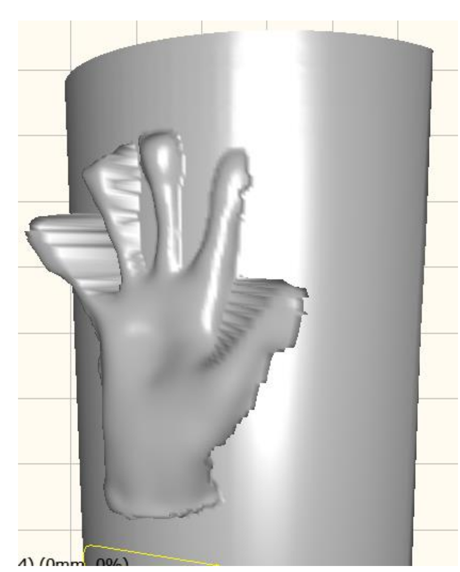


Figure 31: fusion main 1

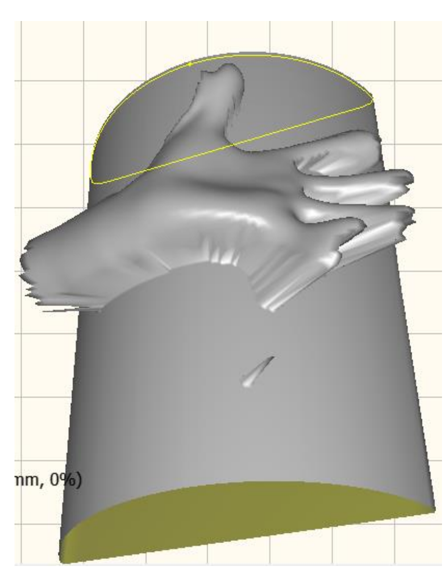


Figure 32: fusion main 2

Enfin, il est possible de travailler virtuellement le positif en délimitant sur la forme des zones au sein desquelles le relief peut être retouché grâce à des outils de rectification permettant de *« lisser »*, *« creuser »*, *« niveler »*, *« scier »* (figure 33).

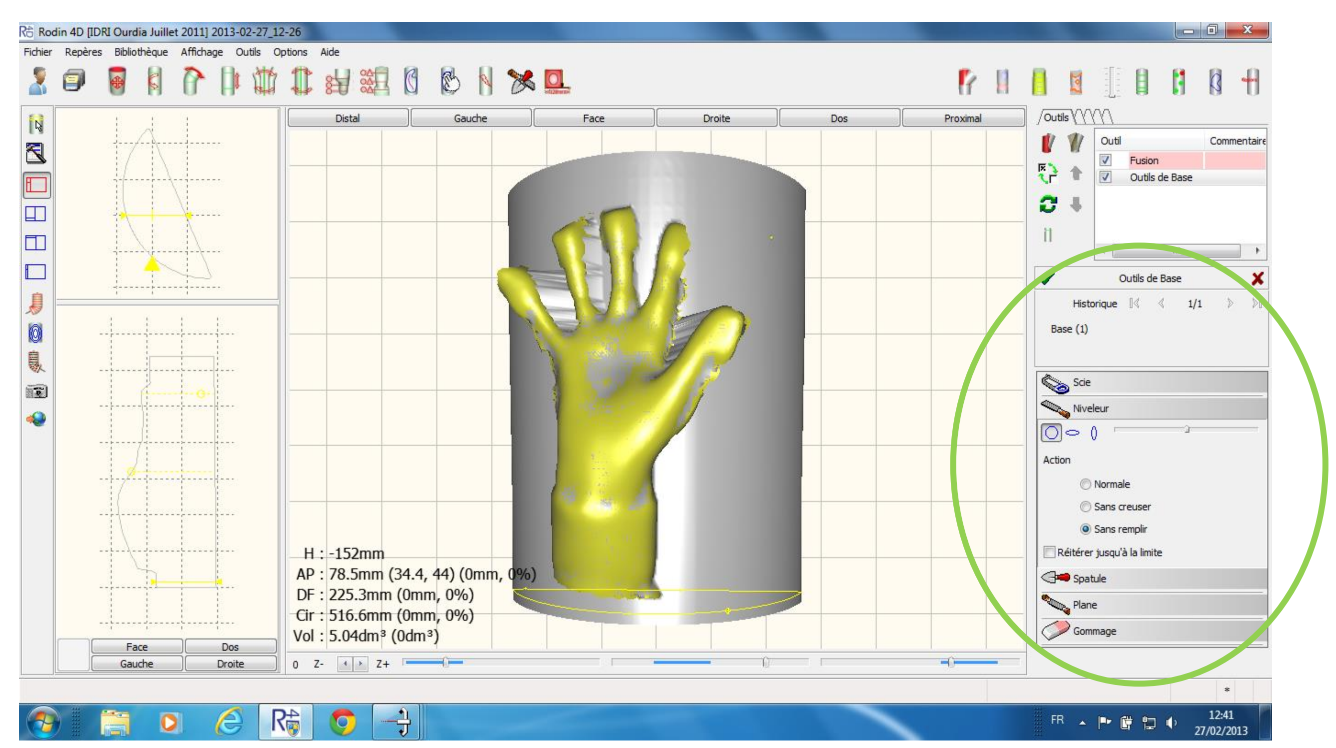


Figure 33: outils de rectification

Tout au long de cette procédure la forme peut être vue sous tous ses angles, ce qui permet de s'assurer de la qualité du travail effectué. Après chaque modification le travail réalisé est automatiquement sauvegardé, ce qui autorise un retour facile et rapide aux étapes précédentes pour annuler des modifications ou en effectuer de nouvelles.

Une fois la prise d'empreinte par digitalisation achevée le fichier final est envoyé par mail à l'usine de fabrication.

2.2.2.2 Réalisation du positif

A la réception du mail le fichier envoyé est traité par les techniciens.
Dans un premier temps, la forme est récupérée et travaillée dans un logiciel, appelé free form 3D® (figure 34), qui permet de retoucher et remodeler la forme ainsi que de reboucher les trous si nécessaire. Cette étape, qui peut prendre de cinq à trente minutes, est dépendante de la qualité du travail produit en amont.
La qualité de la digitalisation est donc capitale puisqu'une forme correctement scannée permet un traitement plus rapide des données à chacune des étapes ainsi qu'un résultat final au plus proche de la réalité.



Figure 34: forme dans le logiciel free form

A partir du logiciel free form® l'empreinte est importée dans un logiciel d'usinage robot pour préparer la Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO).

La machine utilisée pour le fraisage est sélectionnée en fonction du volume de la forme à créer. Pour un corset, le technicien a recours à une fraiseuse munie d'un axe central sur lequel la mousse à fraiser est fixée. Pour un plus petit volume comme un visage, un cou ou une main, un robot est employé. Le parcours réalisé par ce robot pour fraiser le bloc de mousse est programmé grâce au logiciel 3D (figure 35).

Une fois la stratégie d'usinage finalisée, un bloc de mousse polyuréthane dense est fraisé par le robot en une heure et demie. L'usinage réalisé est prévisualisé par le technicien sur écran. De cette façon il peut vérifier la trajectoire du robot et la modifier si besoin.

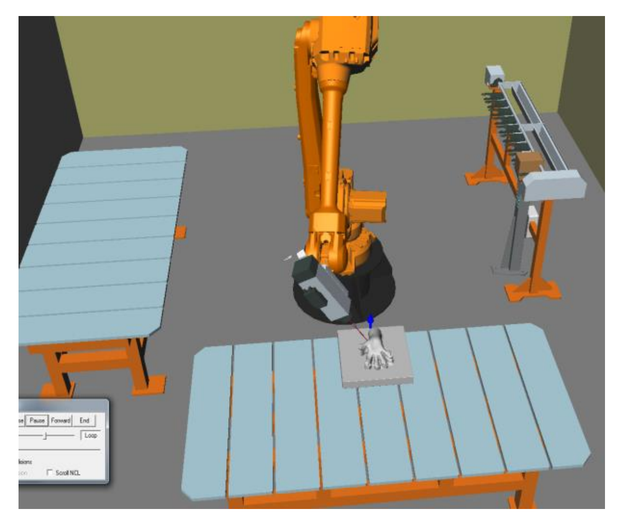


Figure 35: logiciel d'usinage robot

Dès le fraisage achevé le positif polyuréthane obtenu est expédié par colis.

2.2.2.3. Du positif à la cupule palmaire compressive

En moyenne deux jours après l'envoi par mail de la forme 3D à l'usine, la forme en mousse polyuréthane est livrée dans notre service.

Préparation du positif :

Dans un premier temps, un ponçage léger est effectué sur la totalité de l'empreinte de sorte à supprimer le discret relief laissé par le passage de la fraiseuse (figure 36). Ensuite le positif est retouché pour permettre la réalisation d'une compression optimale : il s'agit de « creuser » l'empreinte pour « effacer » les brides et hypertrophies apparentes et redessiner les arches de la main. Cette étape est réalisée à l'aide de papier de verre, de couteaux à plâtre ou de petites spatules en bois, suffisantes pour « gratter » la mousse en excédent.



Figure 36: ponçage du positif

Fabrication de la cupule provisoire :

Une fois rectifiée, la zone à traiter est mesurée et les dimensions sont reportées sur une plaque de thermoformable basse température non perforé. La plaque est découpée et le rectangle placé dans l'eau chaude. Quand il est prêt le thermoformable est moulé sur le positif préalablement vaseliné pour faciliter le retrait de la cupule (figure 37).

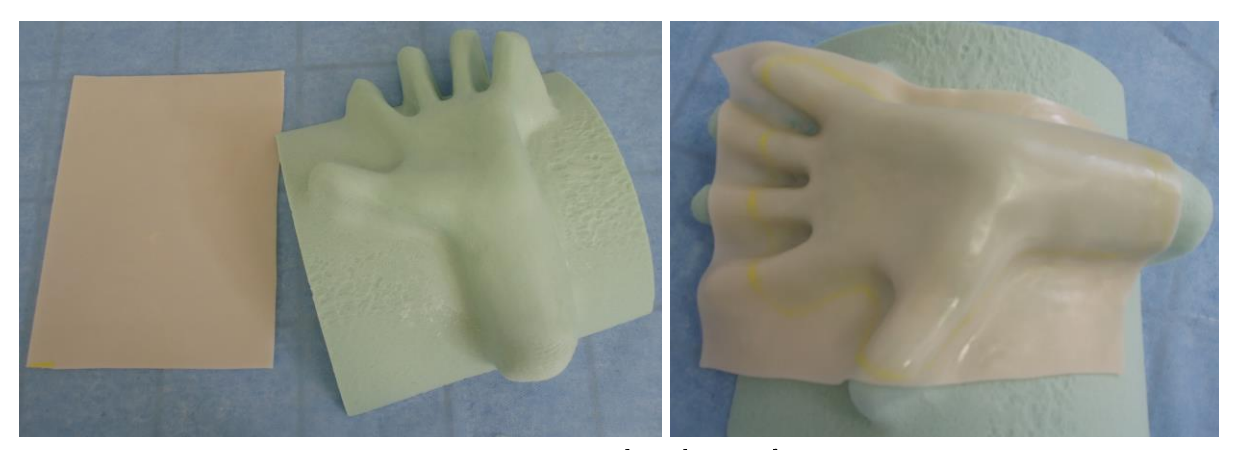


Figure 37: moulage du positif

Quand le thermoformable a refroidi, la cupule peut être démoulée et les finitions effectuées. Les bords sont découpés avec soin, éversés si nécessaire (figure 38). Des trous sont percés dans les espaces interdigitaux et de part et d'autre du poignet, de l'intérieur vers l'extérieur

pour ne pas créer de reliefs qui pourraient blesser le patient. Des élastiques de Jokari® sont passés dans les trous réalisés (figure 39).



Figure 38: découpes

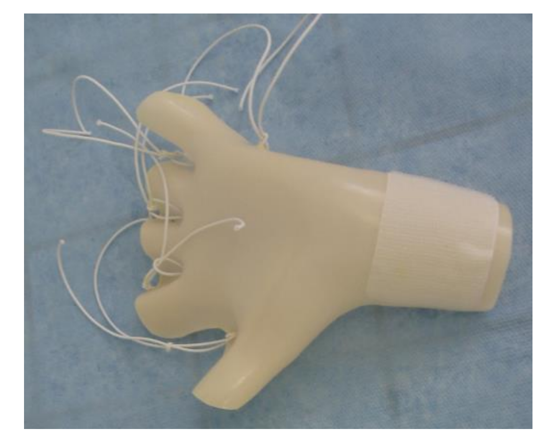


Figure 39: finitions

La cupule provisoire fabriquée peut à présent être essayée (figure 40).
Le patient est confortablement installé, assis, avant-bras en appui, l'orthèse dorsale de posture en extension déjà en place. Alors la cupule palmaire est fixée à la main du patient par le biais des élastiques, qui vont être attachés aux rivets préalablement apposés sur l'attelle dorsale. La tension appliquée par les élastiques doit être réglée de sorte à réaliser une compression suffisante sur les zones à traiter sans pour autant blesser le patient. Lors de cet essayage il faut s'assurer que les appuis exercés par la cupule soient correctement placés et dosés. Si le résultat obtenu est insatisfaisant, une nouvelle cupule provisoire peut être réalisée après retouche du positif. Une fois adaptée la cupule est mise en place pour évaluer la tolérance du patient. Dès que l'appareillage provisoire est validé il est remplacé par la cupule définitive réalisée en thermoformable haute température transparent.



Figure 40: conformateur provisoire vue dorsale, palmaire et porté.

Fabrication de la cupule définitive :

Une fois retouchée, nous confions l'empreinte en mousse polyuréthane à une société d'orthopédie.

Dans leur atelier, une plaque de thermoformable haute température transparent de 2 mm d'épaisseur, imperméable aux UV et de pH neutre, est fixée dans un cadre de thermoformage et placée 5 minutes dans un four à 160°C. A la sortie du four, notre positif préalablement vaseliné est thermoformé sous vide, puis 5 à 10 minutes sont nécessaires au refroidissement du matériau.

Quand il est refroidi, le thermoformable redevenu solide est démoulé puis découpé à la disqueuse. Les bords sont ensuite travaillés à la façonneuse au moyen d'outils de polissage en papier de verre et en silicone. Enfin des trous de 2 mm de diamètre, nécessaires pour fixer les élastiques de Jokari®, sont faits à la perceuse dans les espaces interdigitaux et au poignet, à l'identique de la cupule provisoire. Tout cela nécessite une heure de travail, après quoi nous pouvons récupérer la cupule définitive et la mettre en place, associée à l'orthèse de posture dorsale (figure 41).













Figure 41: Mise en place de la cupule définitive transparente

Au final, nous constatons que la prise d’empreinte par digitalisation présente des avantages évidents pour le patient dans la fabrication du conformateur palmaire et que l’application de la cupule compressive améliore indiscutablement la pression appliquée sur la face palmaire de la main. Ces données suffisent-elles pour faire le succès de cet appareillage et améliorer la prise en charge de la brûlure à la face palmaire de la main ? C’est ce que nous allons tenter de mesurer maintenant.

3 REFLEXION SUR LE CONFORMATEUR PALMAIRE PAR DIGITALISATION

3.1. Résultats

Depuis l'acquisition du matériel de Conception Assistée par Ordinateur, fin décembre 2010, la cupule palmaire compressive est conçue dans notre service uniquement par prise d'empreinte digitalisée. Huit de nos patients ont bénéficié de conformateurs palmaires réalisés par le biais de cette méthode. Le port du conformateur obtenu, dont le résultat à court terme apparait satisfaisant, ne rencontre pas toujours le succès escompté auprès des patients. Ainsi, après avoir présenté la population concernée, les délais de réalisation de l'appareillage et les difficultés rencontrées par les patients seront abordés ; enfin nous discuterons, après avoir pris connaissance des pratiques d'autres équipes, des moyens à mettre en œuvre pour améliorer notre protocole.

3.1.1 Présentation des bénéficiaires

Population globale :

Sur la période d'étude, de deux ans, 113 patients brûlés ont été admis dans notre centre dont 69 hommes et 44 femmes, âgés de 19 à 95 ans, réalisant une moyenne d'âge de 48 ans.
Ces personnes ont été accueillies pour des soins de suite après brûlures thermiques pour 92% d'entre elles, électriques pour 5.3% et chimiques pour 2.7%.
La surface atteinte oscille de 1% à 95% de la surface corporelle totale.
Les mains sont concernées par la brûlure chez 52.2% de ces patients avec une atteinte unilatérale pour 32.2 % des cas, bilatérale pour 67.8%.
Les lésions sont localisées à la face dorsale de la main dans 53% des cas, à la face palmaire dans 3.6% des cas, et mixtes pour 43.4% des mains brûlées. La face palmaire est donc concernée par la brûlure dans 47% des cas.
Le groupe décrit ici est composé d'adultes et seules les mains atteintes de brûlures profondes ont été comptabilisées.

Définition du groupe d'étude :

Pour construire ce travail, l'ensemble des patients ayant bénéficié d'un conformateur palmaire réalisé par digitalisation depuis décembre 2010, date d'acquisition du matériel, jusqu'à décembre 2012, a été pris en compte dans le but de réaliser une évaluation globale de la méthode.

Dans un premier temps j'ai sélectionné les dossiers des huit patients concernés, soit 7% de la population totale accueillie, puis j'ai cherché à les recontacter pour les interroger sur différents points : tolérance de l'appareillage, évolution fonctionnelle, retour aux habitudes de vie antérieures.
Il aurait été intéressant de pouvoir suivre l'évolution cicatricielle suite à la mise en place du conformateur au moyen d'une batterie de bilans (cutané, mobilité et fonctionnel), réalisée à échéances régulières, pour objectiver les répercussions du port de cette attelle. Malheureusement, la population accueillie sur ma période d'étude ne m'a pas permis de concrétiser ce projet.

Dans le groupe ainsi constitué le sexe ratio est équilibré puisque les hommes et les femmes sont représentés de façon égale : 4 hommes et 4 femmes, âgés de 20 à 73 ans, soit une moyenne de 50 ans, 48.5 ans pour les hommes et 51.5 ans pour les femmes, et sont entrés suite à des brûlures thermiques pour six d'entre eux (2 hommes et 4 femmes) et électriques pour deux autres (2 hommes).

La surface corporelle totale atteinte pour cette population varie de 1%, soit la surface d'une paume de main, à 40%. Les lésions intéressent de façon plus ou moins étendue:

- la face pour deux cas,
- le cou pour deux cas,
- le tronc pour 4 cas,
- les membres supérieurs, en plus de l'atteinte des mains, pour 6 cas,
- les membres inférieurs pour 3 cas.

Le délai moyen d'admission en SSR est de 55 jours pour ces patients admis en post-réanimation.

Sur les huit patients étudiés, sept souffrent de brûlures profondes aux deux mains tandis qu'un seul est atteint de façon unilatérale, soit 15 mains brûlées à prendre en charge au total.
Parmi ces 15 mains, l'une n'est concernée par la brûlure que sur sa face dorsale, elle n'est donc pas à prendre en compte dans l'étude.
En ce qui concerne les 14 mains restantes, qui constituent notre groupe, 11 sont atteintes de brûlures mixtes et 3 autres de brûlures localisées à la face palmaire. En fait, pour ces 14 mains, les lésions concernent, du proximal au distal :

- le poignet, le plus couramment de façon circulaire (5 cas), dorsale (3 cas) et moins souvent palmaire (2 cas) ;
- la main, qui souffre le plus souvent d'une atteinte mixte chez notre population adulte (11 cas) et plus rarement palmaire isolée (3 cas) ;
- les doigts, régulièrement de façon dorsale (7 cas), puis circulaire (4 cas) et plus rarement palmaire (3 cas). Ces lésions digitales peuvent conduire à des régularisations, c'est le cas pour 3 de nos patients, soit 5 des 14 mains étudiées.

Ces patients ont bénéficié d'un traitement chirurgical consistant le plus souvent en une excision suivi d'une couverture par autogreffe de peau mince non expansée (dans 57% des cas), de peau mince expansée lorsqu'une plus grande surface était lésée (28.6%), et plus rarement, la zone a été traitée par cicatrisation dirigée (14.3%).

Au total, il s'agit de 3 mains atteintes de façon palmaire isolée et 11 mains mixtes à prendre en charge, associées ou non à d'autres lésions.
Le traitement orthétique de ces 14 mains devrait donc comprendre, au minimum, un conformateur palmaire. Cependant deux patients n'ont pas bénéficié de la digitalisation pour l'une de leur main car les lésions associées imposaient une prise en charge ne permettant pas la mise en place d'un conformateur palmaire, tandis qu'une patiente a été équipée de deux conformateurs supplémentaires dans le cadre d'un renouvellement suite à une chirurgie réparatrice, ce qui laisse, au final, le nombre de prises d'empreintes par digitalisation inchangé.

Les données enregistrées lors de la prise en charge de ces patients nous ont permis d'apprécier les conditions dans lesquelles les conformateurs ont été réalisés, en voici une synthèse.

3.1.2 Evaluation de la procédure

Douleur et stress :
Lors de la prise d'empreinte par digitalisation, réalisée sans prémédication, il est demandé au patient d'évaluer son stress ainsi que la douleur ressentie, au moyen d'une Echelle Verbale Simple (EVS). Il apparait qu'après explication du déroulement de la procédure par le soignant le patient est détendu. Aussi, après mise en place de l'orthèse de posture en extension, la prise d'empreinte se révèle indolore puisque les patients cotent leur douleur à zéro à l'EVS.

Délais :
La prise d'empreinte de la main par digitalisation, première étape de la procédure, a lieu en moyenne 39 jours après l'entrée du patient en SSR. Ce délai fluctue en fonction de multiples facteurs ; ainsi il varie dans notre échantillon de 8 jours pour un patient atteint d'une brûlure de 1% limitée à la paume de la main, à un maximum de 76 jours chez un patient brûlé à 35% de SCT, atteint de brûlures circulaires aux deux mains.

Vient alors le temps de réaliser la prise d'empreinte, étape qui demande en moyenne une demi-heure de travail au thérapeute. Ce temps suffit pour lancer les logiciels, installer le patient, digitaliser la zone à traiter et envoyer l'empreinte 3D obtenue par mail à l'usine de fabrication.
Le temps de mobilisation du patient dépend principalement du temps consacré à lui expliquer la procédure et à l'installer, pouvant aller d'un quart d'heure à une demi-heure tout au plus.

La digitalisation, en elle-même, si elle est réalisée avec succès, ne demande qu'une à deux minutes.
Entre l'envoi de la forme 3D par mail à l'usine et la réception par courrier rapide du positif fraisé, il s'écoule en moyenne 2 jours.

A ce moment la mousse est travaillée puis moulée en thermoformable basse température non perforé ; la cupule palmaire provisoire est ainsi mise en place dans un délai moyen de 5,7 jours après la digitalisation.

Enfin, après avoir effectué les corrections nécessaires sur le positif et obtenu la compression recherchée avec la cupule provisoire, la cupule définitive en thermoformable transparent haute température peut être fabriquée, et ce en moyenne 19,2 jours après la digitalisation. Le patient atteint d'une brûlure de 1% de SCT localisée à la paume de la main, épidermisée à son entrée en SSR, a bénéficié du plus court délai : 6 jours. Le délai le plus long, 42 jours, a été obtenu pour le patient brûlé à 35% de SCT avec atteinte circulaire des deux mains, non épidermisées à son entrée.

3.1.3 Protocole de port

Une fois finalisé, le conformateur palmaire vient s'ajouter au programme orthétique établi initialement. Il est demandé au patient de le porter la nuit, en remplacement de l'orthèse d'extension et d'ouverture de la main réalisée précocement.
Le port nocturne est le plus courant mais le protocole varie selon les atteintes associées.
Ainsi un patient atteint d'une brûlure limitée à la paume de la main peut être appelé à prolonger le port de cet appareillage quelques heures le jour, en alternance avec le port du gant compressif, associé ou non à une adjonction placée sous le gant.
De même un patient souffrant d'une brûlure mixte peut voir son programme d'appareillage complété d'une orthèse d'enroulement le jour, d'un gant compressif avec ou sans adjonction (cavaliers, orthoplastie de paume ou d'ouverture de première commissure), d'une gouttière cubitale pour traiter le cinquième rayon et toute autre attelle nécessaire au cas par cas. Sans compter les orthèses supplémentaires pour traiter l'ensemble des lésions corporelles.

Afin de faciliter l'application du programme orthétique durant le séjour du patient, un planning d'appareillage est affiché dans sa chambre. Ce planning est un outil indispensable pour les patients qui dépendent de l'équipe soignante pour la mise en place des orthèses. Il s'avère aussi très utile pour les patients peu motivés qui peuvent être stimulés et encouragés par le personnel.

Malgré tout, ces appareillages ne sont que peu voire pas portés par certains d'entre eux. C'est pour cette raison que deux sujets n'ont pas bénéficié des cupules définitives.

Pour le premier il s'agit d'un patient atteint de brûlures thermiques étendues à 10% de SCT avec atteinte circulaire des deux mains. Son programme orthétique consistait en la mise en place de gants compressifs associés à des cavaliers en silicone pour les commissures des doigts longs. A cela s'ajoutait une orthèse d'enroulement le jour, alternée avec le port du conformateur palmaire la nuit pour sa main droite, et une orthèse d'ouverture de la paume de main, la nuit, à gauche. Sans compter les gilets et pantalons compressifs. Des priorités, fixées en fonction des répercussions fonctionnelles, ont été données à ce patient qui présentait des difficultés à porter l'ensemble de son appareillage. De cette façon le port du conformateur palmaire a dû être stoppé.

Dans le second cas, le patient, atteint d'une brûlure électrique étendue à 35% de SCT avec atteinte circulaire des deux mains, n'a porté de façon régulière sur l'ensemble de son programme orthétique qu'un collier cervical en mousse et des vêtements compressifs. Son programme comportait pourtant des orthèses d'enroulement quelques heures le jour et des conformateurs palmaires la nuit aux deux mains, des orthèses d'extension aux deux coudes, et un conformateur cervical.

En conséquence, sur les 14 conformateurs palmaires provisoires fabriqués, seules dix cupules définitives ont été achevées et mises en place, reste à savoir combien d'entre elles ont été portées par les patients une fois sortis du centre de rééducation.

3.1.4 Retour patients

Lors de la première mise en place du conformateur palmaire sur leur main, faite par le thérapeute au cours d'une séance qui y est consacrée, les patients ressentent des sentiments très différents : certains trouvent cet appareillage trop volumineux, difficile voire impossible à mettre en place seul, inconfortable, parfois même douloureux et pourtant, l'un d'eux a approuvé l'association de la cupule palmaire à l'orthèse de posture en extension, trouvant que cela rendait la posture « presque confortable ».

Lorsque cette attelle entre dans le programme orthétique, le thérapeute, comme pour tout autre appareillage, apprend au patient à la mettre en place et à contrôler la pression appliquée. Malgré tout, l'intervention d'une tierce personne s'avère nécessaire dans la majorité des cas, ce qui rend le patient dépendant de l'équipe soignante, pouvant aboutir à l'abandon de l'attelle.
Au sein de notre établissement l'observance du port de cet appareillage reste variable. Tandis que certains s'appliquent à respecter le protocole, d'autres ne le suivent que de façon très aléatoire voire pas du tout.

A la sortie du centre de rééducation la maturation cicatricielle n'est pas achevée. Le patient doit donc poursuivre sa prise en charge en libéral et respecter le programme orthétique mis en place avant sa sortie. Ce programme est réévalué à espaces réguliers.

Dans l'optique de savoir si les patients de cette étude ont été fidèles au port du conformateur palmaire et s'ils pensent en avoir tiré un bénéfice, j'ai souhaité les recontacter. J'ai pu revoir l'un d'eux à l'occasion d'une visite de contrôle dans notre centre, trois ont été joints par téléphone ainsi que la famille de l'un d'entre eux, tandis que trois anciens patients se sont malheureusement révélés injoignables.
Ces entretiens ont eu lieu de 9 à 18 mois après la date de sortie des personnes concernées.

Le protocole de port était le même pour tous à savoir un port nocturne, relayé le jour par un gant compressif associé à un élastomère de silicone appliqué sur la zone à traiter. Pour un des cinq patients interrogés s'ajoutait une orthèse d'enroulement le jour.
Il s'avère que deux patients ont abandonné le port du conformateur dès leur sortie.
Un troisième ne l'a porté que quelques semaines et de façon aléatoire.
Un quatrième, dont les deux mains étaient appareillées de conformateurs, a respecté le protocole durant plusieurs semaines.
Le cinquième, également appareillé aux deux mains, a mené son traitement orthétique à terme, à savoir jusqu'à stabilisation cicatricielle.

Afin d'améliorer autant que possible notre prise en charge j'ai cherché à connaitre les raisons pour lesquelles les patients n'avaient pas respecté le protocole de port de cet appareillage.

La douleur

Lors de nos entretiens la douleur n'est évoquée que par l'un d'entre eux. Ce patient explique la difficulté à positionner correctement les deux volets de l'orthèse l'un par rapport à l'autre, condition sans laquelle un inconfort voire des douleurs apparaissent.

L'appréhension

Le stress se révèle aussi un facteur limitant puisqu'un patient a stoppé le port de l'appareillage à son retour à domicile car il « craignait d'avoir mal » avec cet appareillage rigide.

Mise en place de l'orthèse

Seuls deux des patients étaient autonomes pour mettre en place leur conformateur palmaire. Il s'agit d'ailleurs des deux personnes qui l'ont porté de la façon la plus prolongée.

Protocole de port

Malgré le port nocturne de l'attelle, un patient évoque le désagrément occasionné par l'immobilisation de sa main en ouverture maximale. Faisant parti des patients n'ayant jamais porté le conformateur à domicile, il confie par la même occasion sa nonchalance pour l'appareillage de façon générale.

Limitation fonctionnelle

Bien qu'il soit demandé aux patients de porter cette orthèse la nuit, plusieurs rapportent l'avoir abandonnée car elle les gênait pour la réalisation de leurs activités. Cela s'entend de la part des patients équipés aux deux mains.
Si les difficultés qui viennent d'être énoncées ont conduit un patient à stopper le port du conformateur de façon prématurée et que deux autres n'en ont jamais fait usage après leur sortie, deux derniers ont adapté leur protocole en fonction de leur ressenti et de leurs habitudes de vie.
Ainsi quelques semaines après s'être tenu aux consignes données par notre équipe, un patient, qui trouvait trop contraignante la mise en place du conformateur et qui avait conservé toutes ses attelles, a remplacé le conformateur palmaire par l'orthèse palmaire d'extension et d'ouverture de la main réalisée avant la mise en place du conformateur. A celle-ci il a associé l'élastomère de silicone confectionné initialement en adjonction à son gant compressif. Cette stratégie lui a permis de se rendre autonome pour la mise en place de son appareillage, tout en conservant la posture en extension et un minimum de compression par l'application de silicone et la localisation palmaire de l'orthèse. Il précise y avoir gagné en confort.
Un autre patient, appareillé aux deux mains, ne pouvait, seul, mettre en place ses deux conformateurs en même temps. Par souci d'indépendance cette personne a préféré porter l'un des conformateurs le jour, l'autre la nuit.

Satisfaction fonctionnelle et esthétique

Avant de clôturer l'entretien avec les patients je les ai interrogés sur leur satisfaction quant au résultat fonctionnel et esthétique obtenu.

Il en est ressorti que sur le plan fonctionnel les patients sont globalement satisfaits.
Les plus assidus au port du conformateur palmaire ont pu reprendre leurs activités antérieures. Ils ont constaté un gain d'amplitudes ainsi qu'une nette amélioration de la souplesse cutané, les autorisant à retrouver des préhensions plus variées et par là même un niveau d'autonomie très satisfaisant.
Les moins fidèles à l'appareillage obtiennent des résultats plus disparates. Selon l'atteinte initiale les conséquences ne sont en effet pas les mêmes. Ainsi, parmi les patients qui n'ont pas porté leur conformateur, certains ont retrouvé un niveau d'autonomie correct tandis que d'autres se trouvent fortement limités, avec un creusement plus ou moins prononcé de la paume de la main pouvant aller jusqu'à sa fermeture. Ce cas de figure est souvent conséquent à l'évolution de brides déjà présentes lors du séjour du patient en SSR. L'absence de traitement orthétique permet à ces brides d'évoluer et de se renforcer. L'un des patients de cette étude qui a, dès sa sortie, abandonné tout appareillage, est victime de cette évolution. A ce jour il a quasiment exclu sa main lésée et ne réalise plus que des activités mono-manuelles.

Enfin pour ce qui est du résultat esthétique le constat est similaire.

Ainsi les personnes fidèles au port de l'appareillage ont vu leurs cicatrices diminuer de volume, les brides se détendre progressivement et la peau s'assouplir, améliorant le bilan esthétique.
En revanche, si la couleur de la peau se normalise avec la diminution des phénomènes inflammatoires chez tous les patients, les séquelles cicatricielles s'avèrent plus prononcées pour ceux qui n'ont que peu voir pas porté leur appareillage. En effet les brides non posturées ni contenues ont poursuivi leur évolution, emmenant les structures sous-jacentes avec elles, créant des déformations plus ou moins invalidantes. Le résultat esthétique, en plus du bilan fonctionnel, s'en trouve inévitablement altéré.

3.2 Discussion

Le conformateur palmaire est l'appareillage qui permettrait d'associer de la façon la plus efficace la posture en capacité cutanée maximale d'ouverture de la main et la compression de la face palmaire. La palette dorsale posture la main en ouverture maximale tandis que la cupule palmaire rigide permet d'appliquer une pression homogène sur l'ensemble de la zone à traiter malgré ses reliefs. Alors la rétraction et l'hypertrophie, séquelles majeures de la brûlure, sont prises en charge de façon simultanée pour un traitement optimal.

3.2.1 Problèmes rencontrés

Le conformateur palmaire que nous réalisons apparait comme la méthode idéale pour traiter les séquelles cicatricielles de la paume de la main. Bien que sa fabrication soit facilitée par le procédé de digitalisation, d'autres facteurs entrent en jeu pour réaliser le bilan global de cet appareillage. Ainsi plusieurs points ont été relevés.

Mise en place de l'orthèse

Tout d'abord la difficulté de mise en place du conformateur est un problème majeur mis en évidence par nos patients qui complique l'acceptation de cet appareillage déjà peu plébiscité par ces derniers.
Il appartient alors au thérapeute d'expliquer au patient le but du conformateur et de le sensibiliser aux risques encourus s'il ne respecte pas le traitement indiqué. Il doit ensuite lui apprendre à installer son orthèse de façon adaptée, par la pose de l'attelle de posture dorsale d'abord et l'adjonction de la cupule palmaire ensuite, manœuvre faisant appel à la dextérité du patient, pouvant donc se révéler difficile voire impossible à réaliser pour un patient atteint du côté dominant, plus délicate encore en cas de brûlures bilatérales. Ainsi dans la majorité des cas l'intervention d'une tierce personne s'avère nécessaire d'où dépendance pouvant mener à l'abandon de l'attelle.

Accompagnement du patient

Face aux difficultés rencontrées, on comprend que les patients aient besoin d'un accompagnement privilégié tout au long de leur prise en charge, y compris lors de l'intégration de la cupule définitive en Orlen® au traitement orthétique.
En effet, le remplacement de la cupule provisoire par la définitive est une phase délicate qui peut mettre en péril le port du conformateur. L'addition de la cupule palmaire en thermoformable haute température à l'orthèse dorsale de posture a lieu en moyenne 4 jours avant la sortie du patient, plusieurs d'entre eux ont même été équipés la veille de leur départ. Bien qu'une cupule provisoire en thermoformable basse température soit mise en place en moyenne 20 jours avant la sortie du SSR, le patient n'a pas le temps de se familiariser avec cette cupule définitive, plus rigide, donc porteuse d'appréhension pour le patient qui craint l'apparition de douleurs à l'application de ce thermoformable haute température. Il est vrai que la cupule en thermoformable basse température, même bien adaptée, est plus souple et ne réalise pas les mêmes appuis que la cupule en thermoformable haute température. C'est cette transition qui semble avoir conduit l'un des patients de l'étude à stopper le port du conformateur.

Présence de troubles associés

Enfin il faut tenir compte du fait que le public adulte concerné par la brûlure souffre, pour grande partie, de troubles psychiques, qui ne facilitent pas l'acceptation de l'appareillage de façon générale. C'est le cas pour 4 des 8 patients de cette étude.

3.2.2 Confrontation aux autres pratiques

Réalisation d'une enquête

Face aux difficultés rencontrées pour faire appliquer le protocole de port du conformateur palmaire, je me suis interrogée sur les méthodes de prise en charge de la brûlure palmaire des autres centres accueillant des patients brûlés. Alors j'ai réalisé un questionnaire sur la prise en charge orthétique de la main palmaire brûlée qui a été envoyé par courrier papier et électronique à 12 centres français. Le but était de connaître leur stratégie et savoir si elle rencontrait plus de succès auprès des patients. Quoique notre étude soit basée sur une population adulte, les centres accueillant des enfants ont tout de même été consultés puisque les principes de prise en charge sont les mêmes.
Huit réponses m'ont été faites : deux d'entre elles, issues de centres traitant la brûlure en phase aigüe et réalisant peu d'appareillage, n'ont pas apporté de donnée exploitable pour cette étude ; les six autres, provenant de centres de réadaptation, ont été riches de renseignements.

Protocoles appliqués

Il en est ressorti que la prise en charge orthétique initiale est globalement identique à la nôtre : tous réalisent en premier lieu des bandages posturants, remplacés dès que possible par une orthèse de posture visant la CCM en extension, réalisée en thermoformable basse température,

moulée en palmaire ou en dorsal selon les lésions. Sa durée de port est de 23 heures sur 24 pour les enfants et évaluée au cas par cas pour les adultes.
Si l'orthèse en thermoformable basse température se révèle insuffisante pour traiter les rétractions, des plâtres circulaires portés 48 heures et renouvelés à chaque pansement sont réalisés chez les adultes.
La compression souple est systématiquement associée au port de ces orthèses de posture. En fonction de l'épidermisation, elle est appliquée initialement par des bandages cohésifs, puis des gants provisoires prennent le relai, remplacés dès que possible par des gants définitifs.

Difficultés rencontrées

Il est à souligner que cinq des six services ayant répondu jugent la compression appliquée à la face palmaire de la main insuffisante voire inutile pour une brûlure palmaire isolée puisque le gant passe en pont sur la paume.
Ainsi, dans le but d'améliorer le traitement de cette zone en creux, tous ont recours à des adjonctions : pâtes de silicone, plaques de gel de silicone et mousses, portés de 12 à 24 heures par jour selon les services.

Recours au conformateur palmaire

Toujours dans le souci de réaliser une compression plus efficace de la paume de la main, quatre des six équipes mettent en place une compression rigide, plus efficace que la souple, dont les techniques de fabrication varient selon les services.

Deux des équipes utilisent un procédé similaire à celui décrit précédemment, à savoir un conformateur palmaire bivalve. Pour ce faire, une orthèse de posture en capacité d'extension maximale est d'abord fabriquée, permettant de placer la main dans la position adéquate pour prendre l'empreinte, réalisée par plâtre dans ces deux services. Une fois le positif plâtré sec et travaillé, la cupule palmaire provisoire est moulée, remplacée dès que possible par la cupule définitive.
Le système d'attache de la posture dorsale et de la cupule palmaire varie selon la population. Ainsi chez les enfants, l'orthèse de posture en extension est fixée au moyen de bandes cohésives placées d'abord en proximal du tiers inférieur de l'avant-bras jusqu'au poignet, puis en distal le pouce et les doigts sont attachés un à un ; enfin la cupule compressive peut être ajoutée, fixée au moyen d'élastiques de Jokari®.
Pour les adultes, le système d'attache est similaire à celui utilisé dans notre service. Ainsi l'orthèse de posture est attachée au moyen de scratchs placés à l'avant-bras, au poignet, à l'IP du pouce et aux IPD des doigts longs, puis la cupule palmaire est fixée au moyen des élastiques de Jokari®, accrochés aux rivets placés sur l'orthèse dorsale.

Deux autres équipes réalisent la compression rigide au moyen d'une orthèse non plus bivalve mais palmaire. Pour sa conception une empreinte est faite par la pose de bandes plâtrées sur la zone à traiter. Pendant le temps de séchage le thérapeute positionne la main du patient de

façon adéquate. Le positif obtenu est travaillé et une cupule palmaire est moulée en thermoformable haute température. Cette orthèse palmaire est placée sur la main du patient au moyen de sangles en néoprène fixées par boutons pressions ; la tension appliquée sur ces sangles permet de régler la pression exercée par la cupule palmaire sur la zone appareillée.

Le protocole de port appliqué est le même pour toutes les équipes à savoir 23 heures sur 24 pour les enfants, nocturne ou diurne pour les adultes.
Le conformateur est porté en contact direct avec la peau pour deux des équipes, associé au gant compressif et rarement avec interface siliconée pour les deux autres services.
Globalement le protocole est respecté chez les jeunes enfants, dépendants de leurs parents pour la mise en place de l'appareillage. La difficulté pour cette tranche d'âge réside dans l'éducation des parents qui doit être faite de façon rigoureuse par l'équipe soignante, c'est pourquoi un document écrit, illustré, leur est fourni par le service pour les guider une fois à domicile.
En revanche il est rapporté par les équipes que le protocole de port est quasiment impossible à faire appliquer aux adolescents qui refusent catégoriquement cette orthèse.
Enfin, l'observance des adultes est très variable : tandis que certains appliquent rigoureusement le protocole, d'autres ne portent jamais leur appareillage.
S'il apparait que le facteur majeur limitant le port de l'appareillage chez les adultes soit la compliance, il ressort que la compression rigide réalisée par l'orthèse palmaire serait mieux tolérée que celle réalisée par orthèse bivalve, certainement plus facile à mettre en place mais aussi moins contraignante.

Ces informations, recueillies auprès des centres interrogés, m'ont aidé à progresser dans mon cheminement sur les moyens à employer pour améliorer notre prise en charge.

3.2.3 Axes de travail

S'il est certain que la digitalisation a apporté un confort et une rapidité de prise en charge sans égal il n'en reste pas moins vrai que le succès de l'appareillage dépend de nombreux autres paramètres. Des adaptations sont de toute évidence à envisager si nous souhaitons faire progresser notre protocole.

A propos de la méthode de fabrication :

Comme nous venons de le voir, la cupule compressive palmaire peut être fabriquée par prise d'empreinte plâtrée ou digitalisée. Chacune de ces méthodes possède des avantages et des inconvénients, voyons lesquels.

Prise de l'empreinte :

La prise d'empreinte plâtrée est la méthode utilisée par les équipes ayant participé au questionnaire. Elles soulignent que la manipulation du plâtre constitue le point négatif de leur

méthode : salissant, parfois difficile à faire accepter au patient, cette opération est compliquée car plusieurs étapes doivent être réalisées et différents temps de séchage respectés.
Une prise d'empreinte plâtrée nécessite en effet un temps de préparation pendant lequel les bandes plâtrées sont découpées, le patient et le plan de travail protégés, la paume de main du patient vaselinée. Ensuite les bandes sont appliquées, il faut alors respecter un temps de séchage, puis réaliser le coffrage, préparer le plâtre liquide à couler dans le négatif qui vient d'être réalisé, à nouveau respecter un temps de séchage, démouler le positif et laver la main du patient ainsi que le plan de travail et les outils utilisés.

Face au plâtre, la prise d'empreinte digitalisée apparait plus aisée.
Pour le patient d'abord, puisque la numérisation permet une prise d'empreinte à distance, évitant tout contact avec la zone cicatricielle, source de douleur et d'angoisse. Elle est par conséquent plus confortable pour le patient qui, une fois informé du déroulement de la procédure, ne ressent ni stress ni douleur au cours de la digitalisation.
Pour le thérapeute ensuite, car ce procédé mobilise moins de temps que la réalisation d'une empreinte plâtrée : seuls la mise en tension de l'ordinateur et le lancement du logiciel sont nécessaire avant l'acquisition des données, suivie de l'envoie de la forme par mail.

En plus d'être une méthode confortable, facile, rapide et propre pour le soigné et le soignant, la digitalisation permet une prise en charge plus précoce puisque, n'entrant pas en contact avec la zone traitée, elle peut être réalisée avant épidermisation. Cela permet, grâce au travail fait en amont, une mise en place plus rapide de la cupule une fois l'épidermisation acquise.

***Travail du positif* :**
Le positif plâtré obtenu, fidèle à l'état cicatriciel du patient, est travaillé manuellement au couteau à plâtre et au papier de verre afin de créer des zones de pression plus ou moins importante qui doivent permettre de remodeler la cicatrice.
Dans le même but, le positif 3D produit par digitalisation peut, comme nous l'avons abordé précédemment, être retouché par informatique. Des outils permettent en effet de délimiter des zones au sein desquelles il est possible de choisir un sommet ou de dessiner une crête et d'en déterminer le relief. Il est aussi possible d'enlever ou d'ajouter de la matière en creusant, nivelant, gommant ou ponçant la forme 3D.
Cependant il s'agit d'une technique minutieuse requérant une certaine connaissance et maitrise du logiciel. Ainsi, en dépit des possibilités qu'offre la CAO en matière de rectification virtuelle, notre expérience ne nous permet pas aujourd'hui de transférer les compétences acquises « manuellement » à l'outil informatique, nous empêchant d'exploiter pleinement le logiciel. Nos retouches sont donc aujourd'hui encore réalisées de façon manuelle sur le positif en mousse polyuréthane obtenu après usinage.

Il est vrai que face à la difficulté de réaliser des rectifications aussi précises et performantes que le sont les retouches manuelles, notre méthode de travail du positif n'a à ce jour pas progressé avec l'acquisition du procédé de CFAO.

Coût de la méthode :

Sur un plan purement financier il est évident que la prise d'empreinte plâtrée prend l'avantage sur la digitalisation puisque, sans compter le prix d'acquisition du matériel, le fraisage du positif réalisé en usinage est facturé 90 euros. Il représente donc à lui seul un coût supérieur au prix d'achat du plâtre.

Cependant, le coût financier de la CFAO est justifié par le confort apporté au patient, sans oublier le gain de temps de travail qu'il génère.

Au total, même si le procédé de CFAO n'est pas encore pleinement exploité par notre équipe, il présente de nombreux avantages sur la méthode plâtrée, particulièrement pour l'étape de prise d'empreinte, offrant la possibilité d'une réalisation plus rapide, précoce, propre, sans stress ni douleur. Le bénéfice apporté au patient par la digitalisation est donc indéniable.

Aussi, avec le recul et l'expérience, nous devrions apprendre à maitriser suffisamment bien le logiciel pour acquérir la même habileté à réaliser des retouches virtuelles que manuelles, et de la sorte, améliorer encore notre protocole.

Concernant le respect du protocole de port :

Si notre avancée en qualité de prise en charge est certaine avec l'utilisation de la digitalisation, il n'en reste pas moins vrai que le protocole de port du conformateur palmaire bivalve ainsi fabriqué reste difficile à faire respecter aux patients.

Comme nous l'avons vu précédemment, la douleur, l'inconfort, le stress et la difficulté de mise en place de l'orthèse mènent régulièrement à son abandon.

Il est donc essentiel, pour faire progresser notre traitement, de nous employer à trouver les adaptations qui permettront aux patients de porter leur appareillage de façon plus rigoureuse.

Dans ce but, plusieurs pistes peuvent être envisagées à partir des appréciations faites par les patients d'une part et l'expérience des équipes interrogées d'autre part, les voici.

Modification du système de fixation

Pour cette première adaptation, établie sur l'expérience rapportée par les équipes travaillant auprès d'enfants, il s'agirait d'utiliser, dans les premiers temps, un système de fixation plus conséquent et enveloppant qui améliorerait la stabilité et le confort de l'attelle et, alors plus difficile à enlever, encouragerait peut-être le patient à porter son conformateur de façon plus prolongée.

Pour cela une bande cohésive serait posée en proximal, « à cheval » sur l'attelle et l'avant-bras pour solidariser l'appareillage au membre du patient, puis déroulée jusqu'aux extrémités digitales. Cette bande, mise en place le soir, serait ôtée le matin, permettant au patient de reprendre ses activités. Une fois le patient habitué à son appareillage, un système d'attache par velcros® classique serait remis en place, favorisant son autonomie.

Adjonction d'une interface

Cette seconde modification serait, tout simplement, l'addition d'une interface en gel de silicone entre la peau palmaire et la cupule définitive. Elle rendrait certainement la rigidité du thermoformable haute température plus facilement acceptable, sans en altérer la qualité compressive.

Introduction progressive de l'appareillage

Une série de conformateurs bivalves pourraient être réaliser de la même façon que nous réalisons des séries de plâtres circulaires, ce qui permettrait d'introduire la correction de façon plus progressive, permettant au patient de s'habituer à l'appareillage tout en limitant l'appréhension, l'inconfort et le risque d'apparition de douleur.

Réalisation d'un appareillage monovalve

Cette option consisterait en la fabrication d'un conformateur palmaire monovalve, comme cela est pratiqué dans certains services. La méthode de fabrication resterait identique, mais seule la cupule palmaire compressive serait mise en place, attachée au moyen de sangles réglables, dont la fonction serait de réaliser des contre-appuis suffisants pour exercer une pression satisfaisante sur la face palmaire de la main. Plus léger et certainement plus facile à placer, ce conformateur serait peut-être moins correctif qu'un bivalve mais plus confortable, donc mieux toléré par le patient.

Utilisation d'une orthèse alternative

Enfin, n'oublions pas que l'utilisation d'une orthèse palmaire posturant la main en capacité cutanée maximale d'extension, associée à une pâte de silicone moulée sur le patient et placée entre la zone cicatricielle et l'attelle est efficace, et donc, qu'en cas de difficultés avec le conformateur palmaire, elle présente une alternative intéressante. C'est d'ailleurs ce choix qu'avait fait spontanément l'un de nos patients.

Au final, plusieurs possibilités sont à envisager dans le but d'améliorer l'observance du protocole de port. A nous de les mettre en œuvre et de les évaluer afin de trouver le meilleur compromis entre l'efficacité de l'appareillage et la tolérance du patient.
Mais n'oublions pas que, quels que soient les progrès « techniques » que nous apporterons au conformateur palmaire, même le « meilleur » des appareillages s'avère inutile, voire néfaste, s'il est mis entre des mains non averties.

L'accompagnement du patient :

Tout au long de sa prise en charge le patient doit bénéficier d'un accompagnement bienveillant: l'ensemble de l'équipe doit être à son écoute et le tenir informé de sa situation

afin de le rassurer, et l'impliquer dans le projet de soins pour qu'il se responsabilise et s'investisse dans sa rééducation.

Ainsi le patient doit être averti des soins dont il va faire l'objet, informé sur sa pathologie et sensibilisé aux risques encourus. Le temps venu, les principes et objectifs de l'appareillage lui sont expliqués et des séances consacrées à l'apprentissage de la mise en place, de la surveillance et de l'entretien de ses orthèses.
Pour que le programme orthétique soit mené à bien, cette phase d'éducation est incontournable : un patient qui a compris l'intérêt de son traitement sera toujours plus coopérant, d'autant plus s'il parvient à le gérer seul.
A nous donc de réaliser un suivi régulier, individualisé, avec pour objectifs de rendre le patient acteur de sa prise en charge et, autant que possible, de l'autonomiser.

Pour mettre toutes les chances de notre côté il est impératif d'informer aussi son entourage proche et de lui apprendre, au même titre que le patient, à manipuler, surveiller et entretenir l'appareillage. Il nous revient de mettre en place les moyens nécessaires pour atteindre ce but. Ainsi des réunions d'informations incluant les patients et leur entourage pourraient être organisées, la famille proche conviée à participer, au minimum, à l'une des séances individuelle d'éducation du patient à l'utilisation de son appareillage, et des documents papiers explicatifs donnés à la famille et au patient, supports de premier choix au retour à domicile en relai de la prise en charge en SSR.

Au-delà de l'information faite auprès du patient et de la famille nous ne devons pas omettre de sensibiliser et d'informer de façon continue l'ensemble de notre équipe pluridisciplinaire, en permanent remaniement. En effet si au sein même de notre service les consignes données au patient ne sont pas strictement appliquées, le traitement orthétique a toutes les chances de ne pas être observé.

C'est donc l'ensemble des personnes qui gravitent autour du patient qui doit être éduqué, en plus de l'accompagnement privilégié dont doit faire l'objet le patient à chaque étape de sa prise en charge, limitant ainsi le risque de survenue de maux pouvant conduire à l'abandon de l'appareillage.

Au total, il apparait que le protocole de port du conformateur palmaire, dont la fabrication est facilitée par le procédé de digitalisation, est difficile à faire observer par nos patients et ce pour diverses raisons. L'appréhension, la douleur, la difficulté de mise en place et la contrainte occasionnée par cet appareillage aboutissent le plus souvent à son retrait.
A nous de trouver les modifications qui permettront d'améliorer les qualités intrinsèques de cette attelle et ainsi d'obtenir une meilleure tolérance du patient.
Dans ce même but, il nous revient aussi de faire évoluer notre prise en charge humaine, prenant en compte le patient mais aussi l'ensemble de son environnement humain, intra et extra hospitalier.

CONCLUSION

La brûlure de la main, fréquente, parfois isolée mais souvent associée à d'autres lésions, présente un véritable challenge pour le rééducateur.
Selon les caractéristiques de la lésion le mécanisme de cicatrisation est plus ou moins perturbé, pouvant conduire à l'installation de séquelles esthétiques et fonctionnelles étroitement liées, dont le préjudice causé dépend des unités atteintes.
Pour notre population adulte les atteintes sont souvent multiples, constituant des situations complexes, d'autant plus délicates à gérer.
Notre objectif est d'obtenir la meilleure qualité cicatricielle possible pour permettre au patient de reprendre ses activités antérieures.
Cependant, plusieurs facteurs mettent à mal le traitement orthétique de la face palmaire de la main. D'abord la complexité de la main brûlée nous impose d'établir des priorités dans notre traitement, nous conduisant à différer la prise en charge de la face palmaire à la faveur celle de sa face dorsale. Ensuite, l'architecture particulière de cette zone, en creux, complique sérieusement l'efficacité d'un traitement traditionnel.

Malgré tout, depuis l'acquisition du procédé de CAO, le traitement de la brûlure localisée à la face palmaire de la main a bénéficié d'une évolution certaine. En effet, le procédé de digitalisation nous a permis de réaliser un positif de la main du patient de façon précoce, simple et rapide, autorisant, dès l'épidermisation acquise, la mise en place d'une cupule palmaire compressive, associée dans notre service à une orthèse dorsale de posture en capacité cutanée maximale d'extension.
Grâce à la digitalisation, procédé confortable pour le patient et le soignant, la fabrication du conformateur est donc facilitée, et la compression exercée sur la zone d'application est indiscutablement plus efficace que celle appliquée par la compression souple et ses adjonctions. Reste que cet appareillage vient s'ajouter à un programme orthétique souvent déjà chargé et que le patient lui trouve quelques inconvénients.

Si les difficultés rencontrées par les patients équipés d'un conformateur palmaire peuvent certainement être diminuées par une modification de l'appareillage, le problème de compliance fréquemment rencontré semble plus délicat à résoudre.

Finalement, les raisons pour lesquelles le conformateur n'a pas rencontré le succès escompté auprès des patients sont communes à celles qui mettent à mal l'observance du protocole de port de l'appareillage chez les patients brûlés de façon générale. Parmi elles on compte la contrainte fonctionnelle, l'inconfort et parfois la douleur, mais surtout, le défaut de motivation et d'implication du malade dans sa prise en charge.

Ainsi, pour mener à bien notre traitement, il apparait indispensable de mener une politique d'accompagnement spécifique du patient et de son entourage, afin que tous comprennent les

enjeux encourus et les moyens à mettre en œuvre pour permettre une évolution aussi favorable que possible.
Dans ce but l'ensemble de l'équipe soignante, le patient et ses proches doivent faire partie d'un même projet dont l'objectif est de rendre le patient acteur de sa prise en charge. Un programme organisé en séances individuelles et collectives, incluant le patient et ses aidants familiaux, pourrait alors être mis en place, stimulant la motivation du patient, l'encourageant à s'impliquer, et permettant à chacun d'acquérir les connaissances et compétences nécessaires pour gérer les conséquences de la brûlure.

A l'avenir il serait donc intéressant d'intégrer un programme d' « éducation thérapeutique » à notre prise en charge, condition qui semble incontournable pour obtenir la participation active et adaptée du patient et de sa famille proche.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Dagognet F, La main de l'homme. In : Sassoon D, Romain M, Réadaptation de la main, Monographie de la Société Française de Chirurgie de la Main ; 26. Paris, Expansion Scientifique Publications, 1999, pp 5-8.

[2] Direction de l'hospitalisation et de l'organisation des soins. Circulaire DHOS/O4 n°2007-391 du 29 octobre 2007 relative aux activités de soins de traitement des grands brûlés. Bulletin Officiel N°2007-11 : Annonce N°62, http://www.sante.gouv.fr/fichiers/bo/2007/07-11/a0110062.htm, 19/05/2012.

[3] Wassermann D, Benyamina M, Vinsonneau C, Epidémiologie et prévention. In: Echinard C, Latarjet J, Les Brûlures. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson, 2010, pp 13-20.

[4] Martin E, Braye F, Brûlures de la main au stade aigu, In : Echinard C, Latarjet J, Les Brûlures. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson, 2010, pp 21-28.

[5] Rigou A, Thélot B, Institut de veille sanitaire, Hospitalisations pour brûlures à partir des données du Programme de médicalisation des systèmes d'information, France métropolitaine, 2009- synthèse, Maladies chroniques et traumatismes, InVS, aout 2011.

[6] Ravat Fet le groupe épidémiologique de la SFETB, Rapport annuel concernant l'épidémiologie de la brûlure en France métropolitaine. Année 2008. www.sfetb.org, MAJ : 10/04/2012.

[7] Petitpierre N, Allemann P, Mossaz L, Buchs N, Les Brûlés : une approche pluridisciplinaire, Les brûlés – IC 02, 25/04/2005.

[8] Kamolz L-P, Kitzinger HB, Karle B, Frey M, The treatment of hand burns, BURNS 35, 2009, Elsevier, pp 327-337.

[9] Waugh A, Grant A, Anatomie et Physiologie normales et pathologiques / Ross et Wilson, Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson, 2011, ch. 14.

[10] Tortora G, Derrickson B, Principes d'anatomie et de physiologie, 4ème édition, Bruxelles : De Boeck, 2007, ch.5.

[11] Moutet F, Brûlures étendues et récentes : diagnostic et traitement initial, Corpus Médical – Faculté de Médecine de Grenoble, MAJ mars 2005, www-sante.ujf-grenoble.fr/SANTE/

[12] Echinard C, Brûlures graves :constitution de la lésion, In: Echinard C, Latarjet J, Les Brûlures. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson, 2010, pp 20-27.

[13] Wilk A, Le traitement des brûlures, U.L.P.-Faculté de Médecine Srasbourg- DCEM1 2004/2005- Appareil Loco-Moteur.

[14] Rochet JM, Romanchenko S, Prise en charge de la main brûlée : de la lésion à la consolidation, Lett Med Phys Readapt (Springer 2006), 22 :94-104.

[15] Rochet JM, Wassermann D, Carsin H, Desmoulière A Aboiron H, Birraux D, Chiron C, Delaroa C, Legall M, Legall F, Scharinger E et Schmutz S, Rééducation et réadaptation de l'adulte brûlé. Encycl Méd Chir, (Elsevier, Paris), Kinesithérapie-Médecine physique-Réadaptation, 26-280-C-10, 1998, 27p.

[16] Lakhel-Le Coadou A, Delaporte T, Bichet JC, Lambert F et Cantaloube D, Chirurgie des brûlures graves au stade aigu. Encycl Méd Chir (Editions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS, Paris), Techniques chirurgicales – Chirurgie plastique reconstructrice et esthétique, 45-157, 2000, 18p.

[17] Traitement des brûlures, lien internet : www.brûlures.be.

[18] Lien internet de la SFETB : www.sfetb.org

[19] Rochet JM, Hareb F, Brûlures et rééducation, Pathol Biol (Elsevier SAS) 2002 ;50 :137-49

[20] Echinard C, Brûlures graves : évolution de la lésion, cicatrisation et séquelles, In : Echinard C, Latarjet J, Les Brûlures. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson, 2010, pp 29-35.

[21] Descamps H, Baze Delecroix C et Jauffret E, Rééducation de l'enfant brûlé, Encycl Méd Chir (Editions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS, Paris) Kinésithérapie - Médecine Physique et Réadaptation, 26-275-D-10, 2001, 10p

[22] Société Française et Francophone des Plaies et Cicatrisation, Cicatrisation et brûlure, www.sffpc.org, 2012, 6p

[23] Echinard C, Réflexions sur la chirurgie et la rééducation fonctionnelle chez le brûlé grave, In : Echinard C, Latarjet J, Les Brûlures. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson, 2010, pp 195-197.

[24] Castede JC, Foyatier JL, La cicatrice du brûlé aspects cliniques et anatomo-pathologiques. In :INSERM et la SFETB, Deuxième réunion conjointe du Comité d'interface INSERM - Brulures, 1998, 3p.

[25] Van den Kerckhove E, Verhaege S, Remy C, Casaer M, Revalisation des patients souffrant de brûlures : Etat des lieux, Fondation Belge des Brûlures, disponible sur www.brulures.be, 2012, 13p.

[26] Braye F, Zilliox R, Greffes et gestion du capital cutané chez le grand brûlé, In : Echinard C, Latarjet J, Les Brûlures. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson, 2010, p199-205.

[27] Rochet JM, Leclercq C, Rééducation et mains brûlées, In : Sasson D, Romain M, Réadaptation de la main, Monographie du GEM n°26, Expansion Scientifique Publication, 1999, pp 345-634.

[28] La brulologie, Rééducation des brûlés : la traversée du désert, d'après une interview du Dr J-M Rochet, disponible sur www.medicatlas.com/main/revue/brulologie/13.pdf, 5p.

[29] Rienmeyer H, Rochet JM, Principes et rééducation de la main brûlée adulte en phase secondaire, In : Lett Méd Phys Réadapt (2011)27 :74-81.

[30] Bonola A, Caroli A, Celli L, La main : phylogenèse, embryologie, anatomie descriptive et fonctionnelle, anatomie topographique et chirurgicale, anatomie radiologique, Padova : Piccin, 1988.

[31] Voulliaume D, Papalia I, Chichery A, Mojallal A, Foyatier JL, Traitement des séquelles de brûlures, Brûlures des mains, EMC (Elsevier SAS, Paris), Techniques chirurgicales – Chirurgie plastique reconstructrice et esthétique, 45-160-G, 2005.

[32] Genestet M, Examen des téguments, In : Le Nen D, Laulan J, Séméiologie de la main et du poignet, Montpellier : Sauramps médical, 2001, ch.11.

[33] Rochet JM, Nicolas C, Anthor S, Leclercq C, Gaucher S, Bilan de la main brûlée séquellaire, In : Lett Méd Phys Réadapt (2011)27 :92-106.
[34] Martin E, Braye F, Traitement des séquelles des brûlures de la main, In : Echinard C, Latarjet J, Les Brûlures. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson, 2010, p305-311.
[35] Kapandji IA, La Main, In : Kapandji IA, Physiologie articulaire, tome1, 5è édition, Paris : Maloine, 2001, pp172-176.
[36] Guillot M, Principes généraux de rééducation fonctionnelle du brûlé, In : Echinard C, Latarjet J, Les Brûlures. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson, 2010, p233-262.
[37] Girbon JP, Rééducation de la main brûlée en phase aiguë, In : Echinard C, Latarjet J, Les Brûlures. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson, 2010, p313,318.
[38] Almeras I, Frasson N, Niederberger T, Oversteyns B, Rééducation de la main brûlée à la phase aiguë, Lett Méd Phys Réadapt (2011)27 :64-67.
[39] Frasson N, Almeras I, Niederberger T, Oversteyns B et al, Orthèses et traitements orthétiques, Lett Méd Phys Réadapt (2011)27 :82-85.
[40] Gable C et Pétry D, Appareillage de la main, Cofemer 2006, IRR et les auteurs,pp7-12.
[41] Roques C, Spécificités de la rééducation de la main brûlée de l'enfant, Lett Méd Phys Réadapt (2011)27 :68-70.
[42] Monica CT Bloemen, Willem M van der Veer, Magda MW Ulrich, Paul PM van Zuijlen, Frank B Niessen, Esther Middelkoop, Prevention and curative management of hypertrophic scar formation, Burns 35(2009)463-475.
[43] Marduel YN, Rôle de la pressothérapie dans la prevention et le traitement des cicatrices hypertrophiques, centre médical de l'Argentière, Aveize, 3p.
[44] Agrawal NK, Bhattacharya V, Aluminium hand splint for postoperative immobilization of flexion deformity of digits and palm: A simple method, Burns 37 (2011) 541-547.
[45] Descamps H, Grandazzi MH, Mise en place des orthèses de main chez l'enfant et l'adolescent brûlés : exemple d'application d'un programme d'éducation thérapeutique, Lett Méd Phys Réadapt (2011)27 :71-73.
[46] R. Scott Ward, PT, W. Andrew Schnebly, PT, Melva Kravitz, RN, PhD, Glenn D.Warden, MD, and Jeffrey R. Saffle, MD, Have you tried the Sandwich Splint? A method of preventing hand deformities in children, Journal of Burn Care α Rehabilitation, Vol.10/No.1, 1989, pp83-85.
[47] Yotsuyanagi T, Yokoi K and Omizo M, A simple and compressive splint for palmar skin grafting in young children with burns, Burns, 1994, Vol.20/No.1, pp55-57.
[48] C. Schwanholt, OTR/L, MB Daugherty, OTR/L, T Gaboury, OTR/L, and GD Warden, MD, Splinting the Pediatrice Palmar Burn, Journal of Burn Care α Rehabilitation, Vol.13/No4, 1992, pp460-464.
[49] Lacintyre L, Baird M, Pressure garments for use in the treatment of hypertrophic scars – a review of the problems associated with their use, Burns 32 (2006) 10-15.
[50] Service ergothérapie de l'IRR Hôpital Brabois, Vandoeuvre les Nancy, Fiches techniques pour brûlure de paume de main, 2012.
[51] Rodin4D, Manuel d'utilisation R4D-CAD/CAM, version 5.
[52] Rodin 4D, Manuel d'utilisation RODIN 4D SCAN, version5.